

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Antropologie a genetika člověka



Bc. Jana Matysková

**Hodnocení svalové síly a výkonu u dětí a mládeže
pomocí mechanografie**

Assessment of Muscle Force and Power in Children and Youth using Mechanography

Diplomová práce

Vedoucí práce: RNDr. Daniela Zemková, CSc.

Praha, 2013

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 19. 7. 2013

.....
Jana Matysková

Poděkování

Děkuji vedoucí diplomové práce RNDr. Daniele Zemkové, CSc. za odborné vedení, čas věnovaný konzultacím a předávání praktických zkušeností, doc. MUDr. Zdeňkovi Šumníkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky a doc. Mgr. Zdeňkovi Hlávkovi, Ph.D. za pomoc se statistickým zpracováním dat. Dále děkuji Mgr. Lucii Durdilové a Bc. Radce Vlachové za spolupráci při sběru dat mechanografické části práce a kamarádkám Pavlíně, Marii, Anně a Kristýně za pomoc se zapisováním hodnot naměřených antropometrických parametrů do formulářů při sběru dat.

Děkuji členům Katedry antropologie a genetiky člověka Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze za zapůjčení antropometrického instrumentáře a vedení Pediatrické kliniky 2. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Fakultní nemocnice v Motole za poskytnutí mechanografu a kaliperu.

Poděkování za vstřícný přístup a poskytnutí vhodných podmínek pro studii bych ráda vyjádřila vedení a pedagogickému sboru Základní školy Bratří Čapků v Úpici, Základní školy Marjánka v Praze 6, Základní školy Školní v Praze 4, Základní školy Špitálská v Praze 9, Základní školy sv. Voršily v Praze 1, Gymnázia Prof. Jana Patočky v Praze 1, Křesťanského gymnázia v Praze 1 a Městského gymnázia a střední odborné školy v Úpici. Děkuji žákům a studentům, kteří se měření zúčastnili, a jejich rodičům za poskytnutí souhlasu se zařazením svých dětí do studie.

Dále děkuji své rodině za trpělivost, transport mechanografu a podporu během dosavadního studia.

Práce byla podpořena Projektem koncepčního rozvoje výzkumné organizace 00064203/6001 (Ministerstvo zdravotnictví, Česká republika).

Obsah

Abstrakt.....	6
Abstract.....	7
1 Úvod.....	9
1.1 Základní koncepty fyziologie kostní tkáně.....	9
1.1.1 Hypotéza mechanostatu, funkční svalově-kostní jednotka.....	9
1.2 Neinvazivní vyšetření pevnosti kosti.....	10
1.3 Diagnostická kritéria osteoporózy v dětském věku.....	12
1.4 Svalová síla.....	13
1.5 Svalový výkon, pohybový výkon a motorická výkonnost.....	15
1.6 Možnosti hodnocení parametrů svalové funkce.....	15
1.6.1 Hodnocení množství svalové hmoty denzitometrickými metodami.....	16
1.6.2 Hodnocení množství svalové hmoty antropometrickými metodami.....	17
1.6.3 Hodnocení svalové síly dynamometrickými metodami.....	18
1.7 Mechanografie.....	19
1.7.1 Fyzikální principy mechanografie.....	19
1.7.2 Typy testů.....	20
1.7.2.1 Test „ <i>single two-legged jump</i> “.....	21
1.7.2.2 Test „ <i>multiple one-legged hopping</i> “.....	21
1.7.3 Možnosti využití mechanografie.....	23
1.8 Vliv somatických charakteristik na parametry svalové funkce.....	24
2 Cíle práce.....	26
3 Materiál.....	27
4 Metody.....	29
4.1 Metody vyšetření.....	29
4.1.1 Mechanografická část vyšetření.....	29
4.1.1.1 Technické vybavení.....	29
4.1.1.2 Vlastní realizace vyšetření.....	30
4.1.1.2.1 Test „ <i>single two-legged jump</i> “.....	30
4.1.1.2.2 Test „ <i>multiple one-legged hopping</i> “.....	32

4.1.1.3	Výběr výstupních dat mechanografie pro analýzu	33
4.1.2	Antropometrická část vyšetření	33
4.1.2.1	Výpočet somatických charakteristik	34
4.2	Metody statistické analýzy dat	35
4.2.1	Hodnocení dat pomocí metod statistické regrese	36
4.2.2	Hodnocení dat pomocí metody LMS	38
4.3	Formy prezentace výsledků	39
5	Výsledky	41
5.1	Vývoj maximálního svalového výkonu u dívek a chlapců	41
5.2	Vývoj maximální svalové síly u dívek a chlapců	43
5.3	Vliv tělesného složení na svalovou sílu a výkon u dívek a chlapců	45
5.4	Vliv proporcionality postavy na svalový výkon a sílu u dívek a chlapců	49
5.5	Vytvoření referenčních dat pro parametry mechanografie	49
6	Diskuze	51
7	Závěr	57
	Seznam použité literatury	59
	Seznam zkratk	66
	Přílohy: Tabulky	68
	Přílohy: Grafy	81
	Přílohy: Obrázky	100
	Přílohy: Ostatní	106

Abstrakt

Úvod: Pevnost kosti je významně utvářena mechanickými stimuly přicházejícími od kosterního svalstva. Při diagnostice snížené denzity a pevnosti kostí u dětí a mládeže je proto důležité zhodnotit nejen materiální a geometrické parametry kvality kosti denzitometrickými metodami, ale též objektivně posoudit parametry svalové funkce. Jednou z recentně zavedených metod hodnotících svalovou sílu a výkon je mechanografie („*jumping mechanography*“). Cílem předkládané práce bylo vytvoření referenčních dat zdravých dívek a chlapců pro výstupní parametry mechanografie, svalovou sílu (F_{\max}) a svalový výkon (P_{\max}), a stanovení vztahů mezi těmito ukazateli a základními antropometrickými parametry.

Materiál a metody: Do studie bylo zařazeno 796 zdravých dětí a adolescentů (432 dívek a 364 chlapců) ve věku 6 až 18 let včetně. Test na hodnocení svalového výkonu („*single two-legged jump*“), změření tělesné výšky a hmotnosti podstoupili všichni probandi, test na hodnocení svalové síly („*multiple one-legged hopping*“) byl zrealizován u 376 probandů. Sběr dat proběhl v pěti základních a třech středních školách. Motorické testy byly vykonány prostřednictvím přenosné silové plošiny: mechanografu („*Leonardo Mechanograph*® *GRFP*“, Novotec Medical GmbH, Pforzheim). Pro konstrukci hladkých percentilových křivek parametrů P_{\max} , P_{\max}/BM , F_{\max} , F_{\max}/F_G byla užita metoda LMS.

Výsledky: Parametry P_{\max} a F_{\max} významně závisely na věku, tělesné výšce, tělesné hmotnosti a pohlaví ($p < 0,001$). Zásadní vliv na P_{\max} měla tělesná výška, na F_{\max} tělesná hmotnost. Intersexuálně unifikovaný vývoj parametru P_{\max} , resp. F_{\max} byl ukončen ve věku 13, resp. 14 let. U chlapců průměrné hodnoty obou parametrů nadále kontinuálně vzrůstaly, u dívek postupně stagnovaly. V praxi je vhodnější hodnotit jedince podle relativních hodnot vztažených k tělesné hmotnosti, resp. tíhové síle. Zatímco parametr P_{\max}/BM významně závisel na věku, výšce a hmotnosti, parametr F_{\max}/F_G na zmíněných prediktorech nezávisel. Parametry P_{\max} a P_{\max}/BM závisely na tělesném složení výrazněji než parametry F_{\max} a F_{\max}/F_G . Vliv proporcionality postavy byl na studované parametry zanedbatelný.

Závěr: Výsledky práce mohou přispět k rozšíření aplikace mechanografie v klinické praxi a ke zlepšení diagnostiky muskuloskeletálních poruch v dětském věku.

Klíčová slova: „*jumping mechanography*“, mechanografie, svalová síla, svalový výkon, děti, mládež

Abstract

Introduction: Bone strength is dependent on stimulation by skeletal muscles. To diagnose reduced bone strength and density in children and adolescents is therefore important not only to assess the physical and geometric parameters of bones using densitometric methods, but also to objectively assess parameters of muscle function. „Jumping mechanography“ is one of the new techniques used for assessment of muscle force and power. The aim of the thesis was to create the gender-specific pediatric reference data on the main parameters of mechanography, muscle force (F_{\max}) and muscle power (P_{\max}). And to increase our knowledge of mechanography by defining relations between indicators mentioned above and basic anthropometrical parameters.

Material and Methods: The study population included 796 healthy individuals (432 girls and 364 boys) aged 6–18 years. All probands were examined by a „single two-legged jump“ and they were measured for their height and body mass. „Multiple one-legged hopping“ was performed in a subgroup of 376 children. The participants were recruited from five primary schools and three high schools. Motoric tests were performed using a portable force platform („*Leonardo Mechanograph*[®] GRFP“, Novotec Medical GmbH, Pforzheim). LMS method was used to generate smooth centile curves for parameters P_{\max} , P_{\max}/BM , F_{\max} , F_{\max}/F_G .

Results: Parameters P_{\max} and F_{\max} were strongly dependent on age, height, body mass and gender ($p < 0.001$). Parameter P_{\max} reflected the main impact on trend of body height and parameter F_{\max} reflected the main impact on trend of body mass. There was no intergender difference in P_{\max} or F_{\max} in prepubertal children. Both parameters steadily increased in boys and became stable in girls older than 13 years. In practise, more proper attitude in assessment is to evaluate of the individual according to relative values that are related to body mass, respectively body weight. Parameter P_{\max}/BM was more dependent on age, height and body mass, whereas parameter F_{\max}/F_G was not dependent on these predictors. Parameters P_{\max} and P_{\max}/BM were dependent on body composition more than parameters F_{\max} and F_{\max}/F_G . The influence of body proportionality was insignificant.

Conclusion: These results can help the clinicians in the assessment of muscle function by jumping mechanography in pediatric patients and to contribute to better diagnostics of musculoskeletal disorders in children.

Key words: jumping mechanography, muscle force, muscle power, children, adolescents

1 Úvod

Růst, modelace a remodelace kostní tkáně člověka jsou enormně složitými metabolickými procesy, jejichž aktivita je ovlivněna působením rozmanité škály faktorů neurologických, genetických, metabolických, endokrinních, nutričních a mechanických. Role cévních a nervových faktorů se na vývoji kosti za fyziologických podmínek projevuje spíše druhotně, a to prostřednictvím svalového systému. Velmi významný je vliv mechanických signálů, které působí na kost výhradně lokálně. Mechanická stimulace kostní tkáně se tak stala předmětem mnoha vědeckých výzkumů a základem teorií o fyziologických pochodech v muskuloskeletálním systému člověka (Frost and Schoenau, 2000; Bartoníček and Heřt, 2004).

1.1 Základní koncepty fyziologie kostní tkáně

Významným byl koncem 19. století, kdy Julius Wolff matematicky zformuloval vztah mechanické zátěže a morfologie kosti v tzv. zákonu kostní remodelace, označovaného později jako „Wolffův transformační zákon“. Jeho hypotéza je založena na předpokladu, že v důsledku změn funkčních nároků dochází v kosti dle matematických zákonitostí k přestavbě vnitřní geometrie a zároveň ke změně vnějšího tvaru kosti (Wolff, 1892). Teorie však trpí několika zásadními nedostatky – představou intersticiálního růstu kosti, která byla chybně považována za homogenní a izotropní soustavu, a dále nerozlišováním mezi působením statických a dynamických sil. Vhodnější je proto nahradit termín „Wolffův transformační zákon“ termínem „funkční adaptace kosti“ (Ruff et al., 2006). Mnohem později byl odhalen další důležitý pohled na fyziologii kostní tkáně v tzv. 1960 paradigmatu, který popisuje pevnost kosti jako výsledek nezávislé činnosti osteoblastů (modelace) a osteoklastů (remodelace). Zároveň upozorňuje na vliv humorálních a nemechanických faktorů (hormonů, vitaminů, cytokinů, pohlaví, věku apod.) na aktivitu těchto buněk (McLean and Urist, 1961). Vliv mechanických stimulů (biomechaniky) a vztahy mezi tkáněmi tento koncept nezahrnoval.

1.1.1 Hypotéza mechanostatu, funkční svalově-kostní jednotka

Důležitým mezníkem pro porozumění fyziologie kostní tkáně se stal rok 1987, kdy Harold Frost na základě Wolffových poznatků představil komplexnější pohled na funkční

model rozvoje kosti v hypotéze mechanostatu (Frost, 1987). V této teorii je popsána vedoucí úloha působení mechanické zátěže na (re)modelaci skeletu v postnatálním vývoji člověka. Mechanostat reprezentuje soubor faktorů (zejména sled modelačních a remodelačních mechanismů, sekvenci reakčních signálů a aktivitu mediátorů kostní dřeně), kterými kost lokálně reaguje na působící zátěž. Vzniká tak základní mechanismus regulace vývoje kosti v podobě negativní zpětnovazebné smyčky mezi deformací (*strain*) a pevností kosti (viz Obr. 1). Nemechanická agens (růstový hormon, androgeny, kalcium, genetické vlivy apod.) se uplatňují jako modulátory mechanostatického systému, vliv mechanických faktorů nenahrazují (Frost, 1987). Funkčnost mechanostatu je závislá zejména na motorické aktivitě a výživě jedince, stavu efektorových kostních buněk a endokrinně-metabolických vztazích (Frost, 1987; Burr, 1997; Frost and Schoenau, 2000; Cointy et al., 2004; Macdonald et al., 2007; Hamilton et al., 2010). Přirozená mechanická zátěž působící na kost byla chápána jako síla dvou zdrojů: gravitace a kontrahovaného kosterního svalu. Za dominantní fyziologické stimulatory dlouhé kosti jsou dnes považovány síly vznikající kontrakcí svalů při fyzické zátěži a přenášené na kost pákovým mechanismem. Samotná tíhová síla jedince představuje pro kost relativně malou zátěž (Zanchetta et al., 1995; Martin et al., 1998; Schiessl et al., 1998; Frost and Schoenau, 2000; Robling, 2009). Popsaný funkční vztah mezi kostní a kosterní svalovou tkání získal označení „funkční svalově-kostní jednotka“ (dále jen FMBU – *functional muscle-bone unit*) (Schoenau et al., 1996).

Efekt mechanických stimulů kontrahovaného kosterního svalstva na kvalitu dlouhých kostí vhodně potvrzují studie zaměřené na vyšetřování kvality kostí u sportovců (Haapasalo et al., 1998; Petterson et al., 1999), na druhé straně u dlouhodobě imobilizovaných pacientů (Eser et al., 2004; Miyahara et al., 2008). Při zvýšené mechanické zátěži se pevnost kosti zvyšuje, při imobilizaci snižuje. Zmíněné poznatky o mechanické zátěži a deformaci kosti s ohledem na anatomické, klinické a patologické aspekty byly shrnuty v 90. letech 20. století v tzv. „Utažském paradigmatu kostní fyziologie“ (Frost, 1996; Frost, 2001).

1.2 Neinvazivní vyšetření pevnosti kosti

Globálně nejpoužívanější a nejdostupnější metodou měření denzity skeletu je duální rentgenová absorpciometrie (dále jen DXA – *dual-energy X-ray absorptiometry*). Tato

metoda je založena na průchodu dvou paprsků odlišných energetických hladin tkání, přičemž zeslabení paprsku prošlého tkání je přímo úměrné denzitě této tkáně. Nejčastějším objektem měření je proximální část femuru a lumbální páteř. Změřit lze rovněž celotělovou kostní denzitu, kterou lze analyzovat s ohledem na odhad tělesného složení, tedy zastoupení tukové a tukuprosté hmoty. Výsledkem měření je obsah minerálu v kosti (dále jen BMC – *bone mineral content*), projikovaná plocha kosti a plošná kostní denzita (dále jen aBMD – *areal bone mineral density*) vyjádřená v jednotce g/cm^2 . Vzhledem k planimetrické povaze metody je opomíjen třetí rozměr kosti (hloubka), a proto nelze zhodnotit rozložení kostního minerálu v dráze paprsku a odlišit trabekulární a kortikální část kosti. Tato negativa mohou vést k mylné diagnóze snížené kostní denzity u dětí s poruchou růstu, resp. osteoporózy nebo osteopenie u dospělých malého věku, případně k chybné diagnóze demineralizace (Carter et al., 1992; Gafni and Baron, 2004; Schoenau, 2004; Wren and Gilsanz, 2006; Leonard and Bachrach, 2012).

S rozvojem trojdimenzionálních denzitometrických metod založených na principu počítačové tomografie (dále jen CT – *computed tomography*), kvantitativní CT denzitometrií (dále jen QCT – *quantitative computed tomography*), resp. periferní kvantitativní CT denzitometrií (dále jen pQCT – *peripheral quantitative computed tomography*), se však poukázalo na skutečnost, že kvantita (množství kostní hmoty), resp. hodnota kostní denzity, zcela jistě není jediným ukazatelem pevnosti kosti. Velkou úlohu ve finální mechanické odolnosti kosti mají též faktory kvalitativní. Jedná se o vlivy geometrické (velikost, tvar a prostorové rozložení tkáně), dále materiální (odolnost, tuhost apod.) a o míru subklinického poškození kosti (mikrofraktury) (Parfitt et al., 1994; Schoenau et al., 1996; Schoenau, 1998; Hasegawa et al., 2001; Schoenau et al., 2001; Binkley and Specker, 2008).

Metodou QCT lze změřit denzitu všech oblastí skeletu, ovšem nejčastějším objektem vyšetření v klinické praxi jsou lumbální obratle nebo krček femuru. Metoda pQCT měří denzitu dlouhých kostí apendikulárního skeletu, nejčastěji radia a tibie. Výsledkem měření obou metod je volumetrická denzita (dále jen vBMD – *volume bone mineral density*) vyjádřená v g/cm^3 . Vzhledem k tomu, že vBMD není ovlivněna velikostí kosti, je její používání ideální zejména u dětí (Carter et al., 1992; Wren and Gilsanz, 2006; Rauch and Schoenau, 2008). Dalším výrazným pozitivem metod QCT a pQCT je možnost rozlišení denzity trabekulární a kortikální kosti a posouzení jejich geometrických parametrů. Je možné změřit celkovou plochu kosti v transverzálním průřezu, plochu kortikální kosti, šíři

kortikalis, obvod periostu nebo endostu, polární moment setrvačnosti (*polar moment of inertia*) a modul odporu průřezu (*section modulus*). Jejich hodnot lze užít pro výpočet indexu pevnosti kosti (dále jen SSI – *strength strain index*), parametru, který velmi přesně koreluje jak se skutečnou pevností kosti ($R^2=0,85$) (Muller et al., 2003), tak se svalovou silou ($R=0,72$ až $0,94$) (Schiessl et al., 1996; Schoenau et al., 1996; Schoenau, 1998). Metoda pQCT dále umožňuje změřit plochu tukové a svalové tkáně (dále jen MA – *cross-sectional muscle area*), která je vhodným reprezentantem svalové síly a prediktorem pevnosti kosti (Schoenau et al., 2002; Macdonald et al., 2006; Binkley and Specker, 2008). CT snímky se provádí ve striktně definovaných úsecích předloktí. Výhodou pQCT oproti QCT je nižší radiační zátěž a existence pediatrických referenčních dat (Rauch and Schoenau, 2005; Rauch and Schoenau 2008). Nevýhodou pQCT je možnost změření pouze apendikulárního skeletu. Při suspekci na osteoporózu u dětí by proto mělo být ideálně předepsáno vyšetření metodou DXA i pQCT (Baim et al., 2008).

Z uvedených denzitometrických charakteristik na působící mechanickou zátěž zřejmě nejvýrazněji reagují geometrické vlastnosti skeletu. Proto by jim, pokud možno, měla být při denzitometrickém vyšetření kvality kosti věnována zvýšená pozornost (Schoenau et al., 2001; Binkley and Specker, 2008).

1.3 Diagnostická kritéria osteoporózy v dětském věku

Světová zdravotnická organizace (dále jen WHO – *World Health Organization*) definovala roku 1994 osteoporózu u **dospělé populace** jako generalizované progredující systémové metabolické onemocnění skeletu charakterizované sníženou kostní hmotou a poruchou mechanické odolnosti kosti vedoucí ke zvýšené fragilitě a následnému riziku zlomenin kosti. Pro klinické účely je diagnostika osteoporózy u dospělých vymezena kvantitativně striktními osteodenzitometrickými kritérii v podobě parametru T-skóre vyjadřující směrodatnou odchylku (dále jen SD – *standard deviation*) od tabelované průměrné hodnoty denzity mladých zdravých dospělých stejného pohlaví. Osteopenie je při vyšetření kostní tkáně metodou DXA diagnostikována tehdy, je-li hodnota T-skóre pro plošnou kostní denzitu nebo obsah kostního minerálu v rozmezí -1 až $-2,5$. Osteoporóze odpovídá hodnota T-skóre pro aBMD nebo BMC $< -2,5$ (WHO, 1994).

Z definice T-skóre je zřejmé, že u **dětské populace** není kvantifikace výsledků v této formě možná. Proto v roce 2007 Mezinárodní společnost klinické denzitometrie (dále jen

ISCD – *International Society of Clinical Denzitometry*) vydala konsenzus diagnostických kritérií osteoporózy a predikce fraktur u dětí a adolescentů. Diagnostika osteoporózy je dle instrukcí ISCD založena na přítomnosti snížené kostní denzity, která je definována jako hodnota Z-skóre (dále jen SDS – *standard deviation score*) pro aBMD nebo BMC ≤ -2 po adjustaci na věk, pohlaví a tělesnou výšku, a zároveň nálezu pozitivní anamnézy fraktur (jedna zlomenina dlouhé kosti dolní končetiny nebo dvě a více zlomenin dlouhých kostí horní končetiny nebo kompresivní fraktura obratle) (Baim et al., 2008). Z-skóre vyjadřuje, o kolik SD se denzita jedince liší od tabelované průměrné hodnoty jedinců stejného věku a pohlaví. V rámci posouzení kvality kostní hmoty v dětském věku je nutné dále zohlednit antropometrické charakteristiky jako tělesnou výšku, aktuální růstovou rychlost, index tělesné hmotnosti (dále jen BMI – *body mass index*) a stadium pohlavní zralosti, dále stupeň fyzické aktivity a genetický profil jedince (Pors et al., 1998; Gafni and Baron, 2004).

V souladu s Frostovou hypotézou mechanostatu je pevnost kostí funkcí mechanické zátěže na ni kladené, přičemž jako efektor působí za fyziologického stavu aktivita kosterního svalstva. Poruchy svalových funkcí (např. svalová hypertrofie, svalová hypotrofie, asymetrie pohybů) tedy mohou být rizikovými faktory pro snížené hodnoty denzitometrických parametrů, sníženou denzitu a narušenou pevnost kosti. Porucha svalové funkce může být příčinou sekundární osteoporózy. Nicméně vzhledem k tomu, že denzitometrické parametry samy o sobě ne vždy přesně informují o schopnosti kosti odolávat vnějším vlivům, bylo navrženo hodnotit při podezření na osteoporózu u dětí parametry pevnosti kosti vždy spolu se silou, příp. velikostí kosterního svalu. Tedy hodnotit FMBU jako celek (viz Obr. 2) (Schoenau et al., 1996; Schiessl et al., 1998; Rauch and Schoenau, 2001).

1.4 Svalová síla

Síla jako pohybová schopnost jedince je komplexem vnitřních předpokladů pro produkci síly jakožto fyzikální veličiny. Její spojení s kontrakcí kosterního svalstva lze považovat za sílu svalovou. Svalová síla člověka může být definována jako: „schopnost překonávat odpor vnějšího prostředí pomocí svalového úsilí“ (Měkota and Novosad, 2005). Podle charakteru a činnosti svalu a svalových vláken lze kontrakci svalu označovat za izometrickou (statickou), koncentrickou (pozitivně dynamickou) a excentrickou

(negativně dynamickou). Podstatou statické síly je izometrická kontrakce. Ačkoliv se svalové napětí zvětšuje, nedochází ke zkrácení ani protažení svalu. Statické síly působí na tělo rovnovážně a deformačně tlakem nebo tahem. Velikost dynamické svalové síly je podmíněna koncentrickou nebo excentrickou svalovou kontrakcí. Při koncentrické kontrakci zůstává tonus přibližně konstantní, sval se zkracuje. Za excentrické kontrakce se napětí svalu nemění, sval je protahován. Dynamické síly mění pohybový stav těla, případně velikost nebo směr rychlosti (Karas et al., 1990; Malina et al., 2004).

Klasifikace silových schopností prošla značným vývojem. Na základě dnešních poznatků lze svalovou sílu rozčlenit na sílu maximální, rychlou, reaktivní a vytrvalostní. Klasifikačními kritérii jsou: vnější vyjádření činnosti, způsob uvolňování energie a využití svalové práce při konkrétních pohybových vzorcích. Míra spojitosti mezi uvedenými typy sil je různá (Měkota and Novosad, 2005). Maximální svalová síla (základní silový potenciál) představuje největší sílu, kterou je schopen nervosvalový systém při maximální volní (záměrné) kontrakci vygenerovat. Nejvyšší hodnoty maximální svalové síly je dosaženo při kontrakci excentrické. Maximální síla prochází ze všech typů sil v průběhu dětství a adolescence nejmarkantnějšími změnami, což je dokázáno výsledky mnohých testů. Rychlá síla je definována jako schopnost nervosvalového systému vyvinout maximální silový impuls v časovém úseku, který je pro realizaci lokomočního aktu vymezen. Pro popis rychlé síly je důležité zohlednit maximální rychlost vykonání pohybu (v co nejkratším čase) a maximální rychlost v závěrečné fázi akce. Na základě toho je definována startovní síla (velikost síly dosažené na počátku kontrakce v nejkratším možném čase) a explozivní síla (velikost síly dosažené v závěrečné fázi kontrakce za maximálního zrychlení). Reaktivní síla je výsledkem interakce excentrického prodloužení svalu a jeho bezprostředního koncentrického zkrácení. Maximální hodnoty je dosaženo v konečné fázi koncentrické kontrakce. Velikost síly je odrazem kontrakční rychlosti, elasticity zapojených svalů a vyvinuté maximální síly. Vytrvalostní síla (silová vytrvalost) reflektuje schopnost svalu udržet vyvinutou sílu při dlouhodobé dynamické a statické práci, při dlouhodobém silovém výkonu bez výrazného snížení její úrovně. Velikost vytrvalostní síly závisí nejen na velikosti maximální síly, ale zejména na energetických možnostech svalu.

Velikost kontrakce, a tedy vygenerované svalové síly, je závislá na interakci mnoha faktorů. K základním patří počet zapojených motorických jednotek a velikost frekvence dráždících impulsů vyvinutých za jednu sekundu. Dalšími faktory jsou velikost příčného

průřezu zapojených svalů, struktura svalu, intramuskulární koordinace a synchronizace, zdroje energie, funkčnost nervového systému a bezesporu rychlost kontrakce (Karas et al., 1990; Malina et al., 2004; Měkota and Novosad, 2005; Lundgren et al., 2011).

1.5 Svalový výkon, pohybový výkon a motorická výkonnost

Síla sama o sobě nepodává o pohybu v čase a prostoru žádnou informaci. Vhodnějším kinetickým kvantifikátorem pohybu je až produkt dynamické svalové síly, např. reakční síly podložky a rychlosti, svalový výkon. Z fyzikálního hlediska je výkon vyjádřen podílem práce a doby, za kterou byla práce vykonána (Karas et al., 1990; Měkota and Cuberek, 2007). Širším vymezením je pohybový výkon, výsledek určité pohybové činnosti v daném čase a za daných podmínek. Pohybový výkon je mírou realizace konkrétního pohybového zadání (např. výskok do určité výšky). Hlavními činiteli pohybového výkonu jsou pohybové předpoklady (dané geneticky a postnatální pohybovou aktivitou, technikou skoku) zahrnující motorické schopnosti a pohybové dovednosti, motivaci a intervenující proměnné (aktuální zdravotní a psychický stav apod.). Pohybový výkon jedince lze považovat za jednorázový odraz jeho motorické výkonnosti. Motorická výkonnost jedince vyjadřuje schopnost podávat výkony v dané specifické vlastnosti, a to na relativně stabilní úrovni. Na stavu výkonnosti se odráží motorické schopnosti a pohybové dovednosti, somatické předpoklady, psychická a tělesná připravenost k podání výkonu (Malina et al., 2004; Měkota and Cuberek, 2007).

1.6 Možnosti hodnocení parametrů svalové funkce

Zatímco se vyšetření kvality kosti denzitometrickými technikami stalo běžnou součástí osteologické péče o chronicky nemocné děti, metody vyšetření parametrů svalové funkce v rámci kvantifikace lokomočních a neuromuskulárních funkcí dosud kvalitně zavedeny nejsou a navíc jsou mezi jednotlivými typy testů závažné rozdíly. Hlavním důvodem je nemožnost přímého změření maximální skutečné svalové síly člověka v *in vivo* podmínkách, což vede ke snaze nahrazovat svalovou sílu jinými proměnnými. Ne vždy jsou však navrhované markery a koncepty neinvazivních metod ve shodě s pravidly fyzikálními (nesprávné užívání termínů, jednotek apod.) a biomechanickými (testy často omezeny na detekci sil získaných izometrickou či koncentrickou kontrakcí svalů) (Rauch

et al., 2002; Anliker and Toigo, 2012). Proto by měl být výběr konkrétní testovací metody vždy podmíněn znalostí příslušných výstupních parametrů a tedy účelu jejího užití. Zhodnocení kosterní svalové tkáně z hlediska množství a distribuce je doménou denzitometrických a antropometrických metod, analýza parametrů svalové funkce za statického nebo dynamického režimu svalů je předmětem metod kinetických a kinematických.

1.6.1 Hodnocení množství svalové hmoty denzitometrickými metodami

V denzitometrii je za marker svalové síly považována velikost svalové tkáně – buď MA v případě měření pQCT nebo tukuprostá hmota v případě užití metody DXA (Neu et al., 2002; Binkley and Specker, 2008).

Prostřednictvím aplikace těchto denzitometrických metod se např. řešila otázka významu zvyšující se hladiny estrogenů a mechanické zátěže vyvíjené kosterními svaly pro nárůst kostní hmoty u dívek. Příkladem může být studie Schoenau a spol. (2002), který za ukazatele stavu FMBU zvolil poměr BMC/MA radia. Studie mj. ukázala, že do dosažení třetího stadia pohlavní maturace (podle Tannera) byly hodnoty poměru BMC/MA u obou pohlaví vyrovnané s následným nárůstem této hodnoty s věkem u dívek. U chlapců zůstala hodnota poměru BMC/MA nadále konstantní (Schoenau et al., 2002). Tyto rozdíly jsou způsobeny odlišným působením estrogenů a testosteronu na kostní metabolismus.

Nárůst kostní hmoty, a tedy BMC, je u dívek podmíněn endosteální apozicí, ke které dochází v důsledku působení zvyšující se hladiny estrogenů. Další studie mj. ukázaly, že přibývání kostní hmoty u dívek v pubertálním období není zásadní pro dosažení vyšší pevnosti kosti, nýbrž pro možnost uložení většího množství kalcia pro další životní etapy ženy – gestaci a laktaci (Schoenau et al., 2000; Šumník et al., 2006). Testosteron u chlapců působí masivní rozvoj svalové hmoty a sekundární nárůst kostní hmoty periostální apozicí, což se také projeví na výsledné mohutnější vnější morfologii kosti mužů (Schoenau et al., 2000). Pro přesný popis muskuloskeletálních interakcí je tedy naprosto nezbytné analyzovat FMBU vždy ke stadiu puberty jedince (Schoenau et al., 2000). V dospělosti hodnoty BMC a MA závisí na tělesné výšce, na věku nikoliv. Poměr BMC/MA na výšce ani věku nezávisí (Šumník et al., 2006).

Pro účely pediatrické praxe byl Schoenauem (2002) navržen univerzální dvoukrokový diagnostický algoritmus posuzující komplexní stav FMBU analýzou tělesné výšky dítěte, BMC v definovaném místě a parametru svalové síly (maximální svalová síla,

např. maximální izometrická síla stisku ruky získaná ručním dynamometrem, MA nebo odhad množství tukuprosté hmoty). V prvním kroku je posouzena adekvátnost svalové síly nebo svalové hmoty k tělesné výšce, ve druhém je stanoven poměr BMC ke svalové síle nebo hmotě. Výsledky ukazují, o jakou formu kostní poruchy (primární, sekundární) se jedná (viz Obr. 2) (Schoenau et al., 2002; Schoenau, 2005). Stupňovitý algoritmus má vedle diagnostického poslání také významný efekt v terapeutické péči o pacienty (Schoenau et al., 2002; Schoenau, 2005). Výhledově by bylo vhodné ověřit principy konceptu FMBU na dalších anatomických okresech skeletu, např. obratlech, častém objektu fraktur u pacientů s osteoporózou (Fricke et al., 2010a).

Na závěr této kapitoly nutno zmínit, že samotná velikost svalové tkáně není relevantní náhradou svalové síly. S parametrem SSI např. koreluje maximální izometrická síla stisku ruky (dále jen MIGF – *maximal isometric grip force*), výstupní parametr ručního dynamometru (více viz kap. 1.6.3), těsněji než MA (Schoenau et al., 1996; Hasegawa et al., 2001; Binkley and Specker, 2008). Také byla prokázána odlišná dynamika vývoje hodnot MA předloktí a MIGF s ohledem na pohlaví a pubertální maturaci (Neu et al., 2001a; Neu et al., 2001b).

1.6.2 Hodnocení množství svalové hmoty antropometrickými metodami

Poněkud dostupnější (zejména v terénních podmínkách) alternativou neinvazivního hodnocení stavu muskulatury, významné komponenty tělesného složení a tedy hmotnosti těla, jsou tradiční antropometrické metody.

Pro dětskou a dospělou populaci existuje několik více či méně složitých a přesných postupů odhadu komponent tělesného složení. Jednotlivé přístupy se mezi sebou liší zejména v různém počtu měřených kožních řas (dále jen KŘ) a nejednotně definovaných místech jejich odečítání (Boye et al., 2002; Riegerová et al., 2006; Pařízková et al., 2007). Nejrychlejší možnost zhodnocení stavu muskulatury u dětí a mládeže představují metody založené na změření pouze dvou somatických rozměrů. V dnešní praxi klinického antropologa je pro posouzení a sledování nutričního stavu dítěte standardně měřen střední obvod relaxované paže a tloušťka KŘ nad *musculus triceps brachii*. Na základě znalosti těchto rozměrů lze vypočítat tzv. korigovaný obvod paže, parametr odhadu muskulatury jak lokální, tak celkové (viz kap. 4.1.2.1) (Matiegka, 1921; Boye et al., 2002). Rozšířenost antropometrických metod pramení z jejich jednoduchosti, rychlosti provedení a finanční dostupnosti. Komplexní odhad množství tělesného tuku (dále jen FM – *fat mass*)

a tukuprosté tělesné hmoty (dále jen FFM – *fat-free mass*), jejíž hlavní komponentou je kosterní svalstvo, je možné získat změřením KŘ tricipitální a KŘ subskapulární a dosazením jejich hodnot do Slaughterovy regresní rovnice (Slaughter et al., 1988). K dispozici jsou odlišné varianty rovnic pro europoidní a negroidní etnikum, pro dívky a chlapce s ohledem na dosažený stupeň pohlavní maturace podle Tannera a pro jedince s nadměrným množstvím tukové tkáně (Slaughter et al., 1988). V evropských zemích je užívání setu Slaughterových rovnic běžnou praxí (Reilly et al., 1995; Boye et al., 2002).

1.6.3 Hodnocení svalové síly dynamometrickými metodami

Nejdostupnější variantou hodnocení síly statického projevu svalu je mechanický, ruční dynamometr (*handgrip*), jehož jediným výstupním parametrem je MIGF. Rozšířenost dynamometru v klinické praxi a výzkumu je výsledkem přístrojové a metodické nenáročnosti, finanční dostupnosti a existence několika souborů pediatrických referenčních dat vztahující hodnoty MIGF k věku a tělesné výšce jedince (Rauch et al., 2002). Určitá omezení pro aplikaci ručního dynamometru vyplývají z rozličných výsledků studií různých pracovišť. Rozhodující je polohové nastavení přístroje, pozice měřené paže, laterální vyšetřované paže, počet pokusů, analýza výsledků a v neposlední řadě použití konkrétního souboru referenčních dat. Výraznou nevýhodou ručního dynamometru je pouhé lokální zhodnocení síly poměrně omezeného okruhu svalového systému horní končetiny (svalů předloktí a ruky), který není zatížený působením tíhové síly a nereflektuje funkční status celého svalového systému. Hodnota MIGF není vztažena k času ani rychlosti, z definice nepodává žádnou informaci o lokomoci, výkonu a pro menší děti a oslabené pacienty není její aplikace validní (Rauch et al., 2002; Fricke et al., 2010b; Tikkanen et al., 2013).

Komplexnější popis silových schopností poskytují složitější kinetické testy zaměřené na hodnocení svalových skupin dolních končetin a hodnocení parametrů dynamické svalové funkce. Nutno zmínit, že oproti testům zacíleným na horní končetinu tyto respektují působení tíhové síly jedince. Za vyhovující kvantifikační kinetické markery dynamického projevu maximální svalové síly je považován točivý moment (Pettersson et al., 1999) a reakční síla podložky (dále jen GRF – *ground reaction force*), na základě které lze např. vhodně získat hodnotu svalového výkonu (Binkley and Specker, 2008; Rantalainen et al., 2008). Typicky uváděnou metodou je izokinetická dynamometrie měřící obě zmíněné proměnné dolních končetin. Limitem je technické vybavení a metodická náročnost aplikace dynamometru (fixace těla, rozpětí pohybu), která se odráží na výrazné

intraindividuální a interindividuální variabilitě výsledných hodnot točivého momentu plantárních flexorů dolní končetiny. Detekce charakteristik excentrické kontrakce je tedy izokinetickým dynamometrem obtížně určitelná a nepraktická (Olmo et al., 2009). Vhodnější alternativou hodnocení svalové funkce jsou testy nepodmíněné fixací částí těla. Příkladem může být dynamometrická Kistlerova deska (Clarke et al., 1983), zátěžový Wingate test (Malina et al., 2004) nebo silová plošina (např. Bosco test) (Bosco et al., 1983).

1.7 Mechanografie

Slibnou novinkou v hodnocení parametrů svalové funkce je motorický typ testu nazvaný „*jumping mechanography*“ neboli „mechanografie“ (dále jen JM). JM byla navržena za účelem poskytnutí objektivní a efektivní kvantifikace svalové funkce, pohybového výkonu, jakožto jednorázového odrazu motorické výkonnosti, a pohybové koordinace člověka. Konkrétní sestava jednoduchých, fyziologických a ničím neomezených pohybů jedince (poskoky, výskoky, vstávání ze sedu apod.) je analyzována prostřednictvím detekce vertikální složky dynamických GRFs v průběhu času. Na základě znalosti GRF jsou odvozeny hodnoty ostatních kinetických parametrů kvantifikujících pohyb (vertikální rychlost těžiště těla, změna výšky těžiště těla, výkon apod.). Detekčním přístrojem je silová plošina – mechanograf (dále jen GRFP – *ground reaction force platform*) (viz Obr. 3) (Rittweger et al., 2004; Runge et al., 2004; Fricke et al., 2006; Veilleux and Rauch, 2010). Hlavním autorem systému „*Leonardo jumping mechanography*“ je Hans Schiessl (Runge and Schacht, 2005). Světovým výrobcem a distributorem příslušenství JM je německá společnost Novotec Medical GmbH (Pforzheim, Germany), která vyvinula několik verzí softwaru a v rámci nich několik typů testů.

1.7.1 Fyzikální principy mechanografie

Pohyb lidského těla, kinematického řetězce, je vyvolán interakcí vnitřních a vnějších sil. Aktivními vnitřními silami jsou svalové síly, které mění pohybový stav pouze jednotlivých těles soustavy vůči sobě. Pro pohyb těla jako celku je nutné jejich zapojení se silami vnějšími, kterými jsou například statická tíhová síla (dále jen F_G), dynamická GRF a síla daná proudem vzduchu nebo odporem vody (Karas et al., 1990).

V klidném stoji působí na mechanograf nekontaktní statická F_G jedince vycházející z těžiště těla, její velikost je určena tělesnou hmotností jedince. Tlak působící síly je centrován v oblasti metatarzofalangeálních kloubů a paty. Proti této akční síle vzniká v souladu se zákonem akce a reakce stejně velká kontaktní dynamická GRF stejného směru, ale opačné orientace. Výskok je vyvolán součinností svalových sil a GRF. GRF je tedy vhodným indikátorem celkové svalové akce a znalost její velikosti a změn v průběhu času umožňuje stanovení hodnot mnoha dalších kinetických parametrů. Integrací aktuální GRF a vertikálního zrychlení je vypočítána aktuální vertikální rychlost těžiště těla, která je určujícím parametrem kardinální kinetické veličiny – výkonu¹. Na základě znalosti změny polohy těžiště těla v průběhu času, přeměny a velikosti obou forem mechanické energie lze dále získat informaci například o výšce skoku či aktuálně zapojených typech svalových kontrakcí. Komplexnost obrázku o svalové funkci dotváří informace o efektivitě a pravolevé (a)symetrii pohybu, koordinaci a flexibilitě jedince (Rittweger et al., 2004; Runge et al., 2004; Měkota and Novosad, 2005; Runge and Schacht, 2005; Fricke et al., 2006). Významná je koordinace více svalů efektivním způsobem, což je mít třeba na paměti při rozhodování výběru konkrétního testu JM např. u dětí mladšího školního věku nebo menšího vzrůstu. Neúčinné využití kombinace svalů v komplexním motorickém pohybu totiž může uvolnit malé množství energie sloužící pro kýžené kinetické parametry (např. výkon), ačkoliv vykonanou mechanickou práci zúčastněných svalů by bylo možné uvolnit výrazně více energie (Fricke and Schoenau, 2005).

1.7.2 Typy testů

Základem vyšetření jsou jednoduché fyziologické vzorce pohybů odpovídající každodenní aktivitě člověka (výskok snožmo, poskoky na jedné noze, seskok z vyvýšeného místa, vstávání ze sedu apod.) a jejich kombinace. Aplikace konkrétního typu testu na jednotlivých pracovištích závisí na účelu použití, věku a fyzické zdatnosti vyšetřovaných osob. U dětské populace jsou standardně užívány dva typy testů: tzv. *single two-legged jump* (dále jen s2LJ) a tzv. *multiple one-legged hopping* (dále jen m1LH) (Fricke et al., 2006; Ward et al., 2009; Fricke et al., 2010b; Veilleux and Rauch, 2010; Anliker et al., 2012).

¹ $P = F \cdot v$, kde P je výkon [W], F síla [N] a v rychlost [m/s]

1.7.2.1 Test „*single two-legged jump*“

Test s2LJ představuje základní výkonnostní typ testu. Je založen na provedení jednoho vertikálního skoku snožmo s cílem dosáhnout maximální výšky skoku (tj. vzdálenost mezi výchozí a nejvyšší pozicí těžiště těla, bez flexe kolenních kloubů v letové fázi skoku) (viz kap. 4.1.1.2.1 a Obr. 4 a 5). Hlavní výstupní veličinou testu je okamžitý maximální svalový výkon, tzv. „*peak jump power*“ (dále jen P_{\max}), získaný v akcelerační fázi výskoku. Jednotkou je jeden watt (dále jen W). Testem s2LJ je zhodnocen anaerobní svalový výkon (Busche et al., 2013). Pro interindividuální porovnávání výkonu, zejména u dětí a mládeže, je ovšem vhodnější pracovat s výkonem vztaženým k tělesné hmotnosti (BM – *body mass*) jedince (dále jen P_{\max}/BM). Jednotkou je jeden watt na jeden kilogram (dále jen W/kg). Důležitost normalizace P_{\max} ve vztahu k tělesné hmotnosti lze ozřejmit na příkladu srovnání výkonu dvou osob, kdy osoba A váží dvakrát víc než osoba B. Předpokladem je vykonání stejného typu skoku oběma jedinci, a to ve stejném časovém úseku, se stejnou rychlostí a s dosažením téže výšky. Do výskoku, dosažení dané výšky, musí osoba A vynaložit dvakrát víc potenciální energie² (dále jen E_p) než osoba B. Hodnota P_{\max} osoby B bude rovněž dvojnásobná. Při interindividuálním porovnávání výkonu je proto vhodnější používat parametr P_{\max}/BM . Účelem testu s2LJ je kromě kvantifikace svalového výkonu posouzení základních motorických dovedností, svalové koordinace a asymetrií těla (v důsledku bolesti, vadného držení těla apod.) jedince. Vzhledem k tomu, že jsou výsledky ovlivňovány rozmanitými faktory (pohybovou koordinací a balancí jedince, technikou skoku), test s2LJ vhodně odráží strukturální a metabolické charakteristiky denní výkonnosti motorického systému jedince. Proto lze test s2LJ považovat za ideální screeningovou metodu hodnocení anaerobní fyzické zdatnosti (Rittweger et al., 2004; Runge et al., 2004; Fricke et al., 2006; Ward et al., 2009; Veilleux and Rauch, 2010).

1.7.2.2 Test „*multiple one-legged hopping*“

Nejvhodnějším typem testu hodnocení maximální volní svalové síly dolní končetiny je test m1LH. Kinematicky je tento test realizován kontinuálním poskakováním na jedné noze s maximálně extendovaným kolenním kloubem, bez dotyku paty mechanografu. Vrcholu maximální volní GRF, tzv. „*maximum voluntary forefoot ground reaction force*“ (dále jen F_{\max}) je dosaženo těsně po doskoku (viz kap. 4.1.1.2.2 a Obr. 6 a 7). Jednotkou je

² $E_p = m \cdot g \cdot h$, kde E_p je energie potenciální [J], m hmotnost [kg], g tíhové zrychlení [m/s^2] a h je výška [m]

jeden newton (dále jen N). Z hlediska interindividuálního porovnávání síly, zejména u dětí a mládeže, je podobně jako u F_{\max} vhodnější hodnotit F_{\max} vztaženou k F_G jedince (dále jen F_{\max}/F_G). Tato relativní hodnota je bez jednotky (Runge et al., 2004; Veilleux and Rauch, 2010; Anliker et al., 2011).

Vzhledem k tomu, že je vyšší mechanické zátěži vystavena tibie při skocích na jedné dolní končetině a svalová aktivace je při jednostranných motorických úlohách vyšší (až o 27 až 116 %) než při oboustranných, test m1LH by měl být pro zhodnocení svalové síly upřednostněn před testem s2LJ (Bobbert et al., 2006; Veilleux and Rauch, 2010; Veilleux et al., 2012). Hodnota vrcholu maximální volní GRF by měla v případě realizace testu m1LH korespondovat s 3 až 3,5 násobkem tíhové síly zdravého člověka (detekce síly při doskoku, excentrické protažení svalů), zatímco v případě testu s2LJ s cca 2,7 násobkem tíhové síly člověka, po přepočtu na jednu dolní končetinu (detekce síly při výskoku, kombinace excentrického a koncentrického protažení svalů) (Ward et al., 2009; Anliker et al., 2011; Anliker and Toigo, 2012).

Výsledky testu m1LH detailně informují o pravolevých asymetriích pohybu a motorických schopnostech jedince. Několik studií potvrdilo, že optimálního klinického využití testu m1LH je dosaženo v kombinaci s metodou pQCT.

Znalost F_{\max} (v absolutních hodnotách) a znalost parametrů pevnosti kosti komplexním způsobem charakterizují stav FMBU (Anliker et al., 2011; Anliker and Toigo, 2012; Anliker et al., 2012; Edouard et al., 2012). Anliker a spol. (2011) prokázal silnou korelaci mezi F_{\max} a vBMC změřeného ve 4 %, 14 % (vBMC_{14%}), 38 % a 66 % délky tibie metodou pQCT u dětí a dospělých ve věku 8 až 82 let s různou úrovní fyzické aktivity. Nejsilnější korelační vztah byl nalezen mezi F_{\max} a vBMC_{14%} tibie ($R^2=0,840$; $p<0,001$). Parametr F_{\max} by tedy mohl být vhodnějším prediktorem vBMC než dříve zmíněné náhradní parametry mechanické zátěže kosti (např. MA) u obou pohlaví (Anliker et al., 2011). Navíc byl po vzoru algoritmu Schoenau a spol. (2002) pro dětskou populaci zkonstruován nový prospektivní algoritmus kvantifikace muskuloskeletálního statusu dolní končetiny pro účely rozlišení primární a sekundární poruchy skeletu (viz Obr. 8). Markerem svalové funkce je parametr F_{\max}/F_G , markerem kvality kosti vBMC_{14%}. Validita algoritmu by měla být prospektivně ověřena u osob s muskuloskeletálními defekty, dosavadní studie se týkala pouze zdravých osob (Anliker and Toigo, 2012).

1.7.3 Možnosti využití mechanografie

JM je citlivou a efektivní metodou, která je zejména díky rozmanitým možnostem testů, jejich reliabilitě, validitě, objektivitě a transferabilitě uplatnitelná v širokém spektru oblastí. JM je aplikovatelná v rámci diagnostiky poruch pohybového aparátu člověka a monitorování výsledků léčby v pediatrické a geriatrické medicíně, v ortopedických a rehabilitačních zařízeních, ve sportovní medicíně a klinickém výzkumu, ve kterém je ideální její kombinace s metodou pQCT (Rittweger et al., 2004; Runge et al., 2004; Fricke et al., 2006; Dionyssiotis et al., 2009; Veilleux and Rauch, 2010; Anliker et al., 2012). JM oproti jiným kinetickým metodám umožňuje vědecký popis pohybu v souladu se zákony fyziky a díky dynamické povaze testů poskytuje relevantnější obrázek o svalové funkci člověka než testy izometrické či dynamické izokinetické (Rittweger et al., 2004; Runge and Schacht, 2005; Anliker et al., 2011). Slibný potenciál JM, coby screeningové metody hodnocení svalové funkce jedince, je navíc doložen její vysokou reprodukovatelností oproti jiným metodám (Rittweger et al., 2004; Veilleux and Rauch, 2010) a možností analyzovat fázi excentrické kontrakce, na jejímž stavu a pohybové koordinaci se časně odráží projevy mnohých poruch pohybového aparátu (Runge and Schacht, 2005). Praktická použitelnost JM je podpořena časovou nenáročností přípravné a samotné měřicí fáze testu (v řádu několika minut na test) a generací výsledků testů bezprostředně po provedení testu.

Ačkoliv je JM na světovém trhu dostupná již několik let a publikovaných klinických studií rapidně přibývá, jejím handicapem zůstává nekvalitní soubor referenčních dat kinetických parametrů obou testů JM pro dětskou i dospělou populaci. K dispozici byl ještě do června 2013 (více viz kap. 6) pouze jeden soubor pediatrických referenčních dat publikovaný v roce 2006 Fricke a kolektivem. Tento soubor referenčních dat je však limitován několika nedostatky: 1) data byla získána vyšetřením pouze 312 jedinců (135 chlapců a 177 dívek) navštěvujících základní a střední německé školy (věk 6 až 19 let); 2) početní rozložení jedinců v rámci věkových skupin není rovnoměrné, přičemž zejména vyšší věkové kategorie jsou reprezentovány jen několika probandy; a 3) publikovány byly pouze základní hodnoty týkající se testu s2LJ – maximální svalová síla a maximální svalový výkon (P_{\max}). Výstupní parametry byly prezentovány ve formě průměrných hodnot a směrodatných odchylek, ve vztahu k pohlaví, kalendářnímu věku, tělesné výšce a tělesné hmotnosti (Fricke et al., 2006). Vzorem byla dříve zmíněná studie vyšetřující parametry motorické výkonnosti horních končetin u dívek a chlapců ve věku 7 až 19 let, jejímž hlavním výstupem byla pediatrická referenční data prezentující MIGF jako funkci

chronologického věku, stupně pohlavní maturace a tělesné výšky, vždy s ohledem na pohlaví (Rauch et al., 2002).

1.8 Vliv somatických charakteristik na parametry svalové funkce

Rozvoj svalové síly a motorické výkonnosti je u dívek a chlapců ovlivňován mnoha faktory. K základním patří velikost, tvar a proporce těla a stupeň pohlavní maturace jedince. Studie zkoumající vliv těchto faktorů na parametry svalové funkce ovšem nepodávají shodné výsledky (Parker et al., 1990; Sinaki et al., 1996; Frost and Schoenau, 2000; Malina et al., 2004; Fricke and Schoenau, 2005; Lundgren et al., 2011). Změny ve svalové síle též úzce souvisí se změnami ve složení a zastoupení svalových vláken, s maturací svalové tkáně, a fyzickou aktivitou jedince (Malina et al., 2004).

Vztah mezi parametry svalové funkce a tělesnými rozměry vyjadřuje obecné pravidlo alometrického škálování, které bylo v rámci Rauchovy (2002) a Frickeho (2006) studie aplikováno při tvorbě predikčních regresních rovnic. Obecná rovnice alometrického škálování má tvar:

$$\text{parametr svalové funkce} = a \cdot (\text{tělesný parametr})^b,$$

která je v praxi transformována do lineárního vztahu prostřednictvím logaritmické transformace obou stran rovnice:

$$\log(\text{svalová síla}) = a + b \cdot \log(\text{tělesný parametr}).$$

Konstanty „a“, „b“ jsou neznámými parametry přímky (Asmussen et al., 1955; Parker et al., 1990).

Výsledky studií dále ukázaly, že hodnoty parametrů svalové funkce (F_{\max} a P_{\max} testu s2LJ, MIGF) vzrůstají s chronologickým věkem probandů, nicméně s odlišnou dynamikou mezi pohlavími (Rauch et al., 2002; Fricke et al., 2006). Rauch a spol. (2002) navíc analyzoval vztah MIGF a dosaženého stupně pohlavní maturace u dívek a chlapců. Oba případy rovněž vykazovaly lineární korelaci. Popisem muskuloskeletálního vývoje u chlapců a dívek se rovněž detailně zabývala studie Schoenau a spol. (2000), jejíž výsledky jsou shrnuty v kapitole 1.6.1.

Prezentované výsledky studií potvrdily, že svalová síla a výkon jsou u obou pohlaví významně formovány auxologickým profilem jedince. Výsledky testů svalové funkce by měly být vždy hodnoceny ve vztahu k pohlaví, věku a somatickým charakteristikám,

zejména tělesné výšce a hmotnosti. Ideální je zároveň znalost dosaženého pubertálního stupně jedince. Zohlednění auxologických parametrů je stejně jako v případě pQCT důležité zejména u dětí s poruchou růstu, aby nedošlo k mylné diagnostice svalové poruchy (Schoenau et al., 2000; Fricke and Schoenau, 2005; Dionyssiotis et al., 2009).

2 Cíle práce

Předkládané práci byly definovány následující cíle a pracovní hypotézy:

Cíle

1. Stanovit vztahy mezi základními výstupními parametry mechanografie, maximální svalovou silou (F_{\max} , F_{\max}/F_G) a výkonem (P_{\max} , P_{\max}/BM) získanými prostřednictvím mechanografu „*Leonardo Mechanograph[®] Ground Reaction Force Platform*“ a pohlavím, věkem, tělesnou výškou, tělesnou hmotností, tělesným složením a proporcionalitou postavy.
2. Vytvořit referenční data zdravých dívek a chlapců ve věku 6,00 až 18,99 let pro parametry F_{\max} , F_{\max}/F_G , P_{\max} , P_{\max}/BM ve vztahu k věku, tělesné výšce a tělesné hmotnosti a zkonstruovat percentilové grafy parametrů F_{\max} , F_{\max}/F_G , P_{\max} , P_{\max}/BM ve vztahu k věku a tělesné hmotnosti.

Hypotézy

1. Rozvoj parametrů F_{\max} , F_{\max}/F_G , P_{\max} , P_{\max}/BM bude u obou pohlaví přímo záviset na věku, tělesné výšce a tělesné hmotnosti.
2. Mezipohlavní rozdíly v parametrech F_{\max} , F_{\max}/F_G , P_{\max} , P_{\max}/BM nebudou do určitého věku v důsledku unifikovaného vývoje svalové funkce významné. Rozdíly se objeví v období puberty – u chlapců se budou hodnoty mechanografických parametrů lineárně zvyšovat, u dívek postupně stagnovat.
3. Analyzované parametry mechanografie budou s odhadnutým množstvím tělesného tuku vykazovat závislost nepřímou, s odhadnutým množstvím tukuprosté hmoty závislost přímou.
4. Parametry F_{\max} , F_{\max}/F_G , P_{\max} , P_{\max}/BM budou vyšších hodnot u probandů s relativně delšími dolními končetinami.

3 Materiál

V rámci diplomové práce bylo vyšetřeno **796** jedinců (432 dívek a 364 chlapců) převážně české národnosti ve věku 6,00 až 18,99 let. Sběr dat proběhl v letech 2011 a 2012 v pěti základních a třech středních školách v Praze a v Úpici, malém městě ve východočeském kraji. Měření byla uskutečněna v Základní škole (dále jen ZŠ) Bratří Čapků v Úpici, ZŠ Marjánka v Praze 6, ZŠ Školní v Praze 4, ZŠ Špitálská v Praze 9, ZŠ sv. Voršily v Praze 1, Gymnáziu Prof. Jana Patočky v Praze 1, Křesťanském gymnáziu v Praze 10, Městském gymnáziu a střední odborné škole v Úpici.

Nejprve obdrželo vedení každé instituce oficiální písemnou žádost o svolení k provedení antropometrického a mechanografického měření žáků, studentů. Následovala osobní schůzka s kontaktní osobou zařízení (ředitelem školy, zástupcem ředitele školy, vyučujícími tělesné výchovy), se kterou byly dojednány veškeré podmínky měření. Zároveň byl v jednotlivých třídách většiny škol ústně vysvětlen účel a průběh šetření. Všem žákům a studentům škol byly rozděleny informační dopisy a dotazníková anketa pro rodiče zaměřená na anamnestické údaje dítěte (viz Přílohy: Ostatní). Obvykle do týdne po získání vyplněných dokumentů bylo na škole zahájeno měření.

Podmínkou přistoupení probanda k vyšetření byl písemný souhlas se zařazením jedince do studie (u nezletilých osob vyžadován od rodičů nebo zákonných zástupců dítěte) a splnění kritérií vycházejících z dříve publikovaných prací týkající se JM (Fricke et al., 2006; Veilleux and Rauch, 2010). Medián věku sledované skupiny byl 11,6 let (mezikvartilové rozpětí 9,0 až 14,5 let). Test s2LJ, změření tělesné výšky a tělesné hmotnosti podstoupilo **796** probandů (viz Graf 1), test m1LH **376** probandů (194 dívek a 182 chlapců) téhož souboru (viz Graf 2). Základní klinická a antropometrická charakteristika sledovaného souboru je prezentována v tabulce 1. Kompletní podrobnější antropometrické vyšetření proběhlo u **645** probandů (357 dívek a 288 chlapců) (viz Graf 3). Do studie byli zařazeni jedinci zdraví a schopní výkonu pohybové zadání mechanografického testu. Do studie nebyli zařazeni jedinci trpící onemocněním muskuloskeletální (akutní bolest kloubů) nebo neurologické (epilepsie, hyperkinetická porucha) povahy, jedinci se závažným onemocněním ovlivňující růst (cystická fibróza, celiakie, hyperfunkce štítné žlázy, Turnerův syndrom) a užívající typ medikace, který by

mohl ovlivňovat kostní metabolismus (substituce thyroxinem). Dalším vyřazovacím kritériem byla etnická příslušnost dítěte jiná než europoidní.

Studie byla schválena Etickou komisí Fakultní nemocnice (dále jen FN) v Motole.

4 Metody

4.1 Metody vyšetření

Vyšetření sestávalo ze dvou typů: mechanografického a antropometrického. Měření probíhala v dopoledních a odpoledních hodinách v době výuky, zejména v rámci vyučovacích hodin tělesné výchovy, v oddělené místnosti pro zajištění diskrétního prostředí. Místnost byla dostatečně prostorná, světlá, dobře větratelná a vytápěná, podlaha tvrdá pro zabezpečení správné funkce mechanografu. Proband byl oblečen v nejnutnějším sportovním úboru, bez obuvi. Z časových a technických důvodů přistupovali probandi po dvojicích nebo trojicích s ohledem na pohlaví a požadavky žáků a studentů. Skupině probandů byl vysvětlen postup mechanografického a antropometrického měření a demonstrována komentovaná sestava skoků vyšetřující osobou. V ideálním případě následoval synchronní způsob práce – jeden proband byl vyšetřován mechanograficky (autorkou práce nebo osobou z Pedagogické fakulty Univerzity Karlovy v Praze), druhý antropologicky (pouze autorkou práce) a další sledoval techniku skákání na mechanografu, případně se rozvíchoval a povzbuzoval společně s měřící osobou skákajícího spolužáka k dosažení nejlepších výsledků. Celkový čas vyšetření jednoho probanda se obvykle pohyboval v intervalu 20 až 25 minut. Z časových důvodů a pro minimalizaci chyb při záznamu antropometricky získaných údajů byla příležitostně k dispozici další osoba, která data zapisovala do formulářů.

Před měřením v terénu proběhlo zaškolení členů týmu v práci s mechanografem na Pediatrické klinice 2. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a FN v Motole pod vedením technika firmy Novotec Medical GmbH nebo zainteresovaného lékaře.

4.1.1 Mechanografická část vyšetření

4.1.1.1 Technické vybavení

Technické vybavení JM sestávalo z mechanografu „*Leonardo Mechanograph*® *GRFP*“ (viz Obr. 3), zesilovače a registračního zařízení v podobě počítače a softwaru „*Leonardo Mechanography GRFP*“ verze 4.2. Vše bylo poskytnuto firmou Novotec Medical GmbH. Mechanograf je plošina o délce 66 cm, šířce 66 cm, výšce 7 cm a hmotnosti 61 kg složená ze dvou symetrických obdélníkových silových desek rozdělující plošinu na pravou a levou část a kovové základny s několika protiskluzovými podložkami.

Každá deska obsahuje čtyři tenzometrické snímače GRF s maximální detekční schopností přibližně 1500 N na jeden senzor. Rozložení sil je závislé na jejich lokálním působení na konkrétní senzor, nicméně součet sil působících na celou desku je na místě aplikace nezávislé. Sensory jsou propojené prostřednictvím USB s počítačem, přičemž signál ze silových snímačů je odebírán při frekvenci 800 Hz. Pro zajištění správné funkce senzorů je nutné mechanograf umístit na pevný a rovný povrch, zabezpečit jeho stabilitu úpravou šesti šroubů po okrajích desky a občasně provádět adjustaci přístroje. Z bezpečnostních a estetických důvodů je k mechanografu dodáván dřevěný rám se zaoblenými rohy (Rittweger et al., 2004; Veilleux and Rauch, 2010; <http://www.galileo-training.com/de-english/products/p6/leonardo-mechanograph-grfp.html>).

4.1.1.2 Vlastní realizace vyšetření

Předpokladem měření bylo vytvoření datového souboru probanda v softwaru mechanografu, do kterého byly zadány základní osobní údaje vyšetřovaného (jméno a příjmení, datum narození, pohlaví). V tomto souboru byla následně automaticky ukládána a analyzována veškerá zaznamenaná data v průběhu testování. Proband byl zároveň podroben krátkému standardizovanému rozhovoru týkající se jeho zdravotního stavu s důrazem na akutní a chronickou bolest zejména dolních končetin (i přesto, že byla otázka na zdravotní stav součástí dotazníku pro rodiče), četnosti a případné lokalizace dosavadních fraktur, laterality horních končetin a sportovní aktivity (rekreační vs. vrcholový sport, frekvence, jednostranná fyzická zátěž při sportu). Dívky byly dotazovány na věk menarché.

Průběh testů s2LJ a m1LH lze z hlediska kinematického a kinetického rozčlenit do několika fází.

4.1.1.2.1 Test „single two-legged jump“

Vyšetření bylo u všech probandů zahájeno jednodušším a atraktivnějším typem skoku – výskokem snožmo. Probandi byli standardizovaně instruováni v průběhu ukázky skoku examínátorem takto: „Po zaznění signálu vyskočte jednou, s maximálním úsilím, co nejvýš to dokážete! Kolena při výskoku nepokrčujte! Můžete si pomoci švihem paží. Po doskoku zůstaňte do dalšího signálu stát v klidové, výchozí pozici.“ (Rittweger et al., 2004; Runge et al., 2004; Veilleux and Rauch, 2010).

V přípravné fázi zaujal proband výchozí pozici – vzpřímený postoj s pažemi volně spuštěnými podél těla a s dolními končetinami od sebe asi v šíři ramen, přičemž každá ploska nohy se dotýkala jedné silové desky mechanografu. Pro správné změření F_G , výchozí GRF, a tedy získání hodnoty tělesné hmotnosti³, musel jedinec v této pozici setrvat asi dvě sekundy (viz Obr. 4, fáze A; Obr. 5, fáze t0). Po zaznění akustického signálu následovala hlavní fáze měření, která byla odstartována protipohybem těla (tzv. *counter-movement*) představovaným rychlou flexí kolenních a kyčelních kloubů (viz Obr. 4, fáze B). Tento pohyb byl drtivou většinou jedinců konán automaticky. Mechanismem podřepu bylo excentrické protažení elastických elementů, které umožnilo konzervaci kinetické energie (dále jen E_k) ve svalově-šlachové jednotce. V této fázi byl zřetelný pokles vertikální rychlosti (dále jen v) těžiště těla (dále jen CoM – *center of mass*) a GRF, která tehdy nabyla nižších hodnot než F_G (viz Obr. 5, fáze t1, t2). Nulová hodnota veličiny v signalizovala maximální pokles CoM. V témže okamžiku začala být E_k v elastických elementech přeměňována v E_p . V akcelerační fázi pohybu (během koncentrické kontrakce posturálních svalů) (viz Obr. 4, fáze C) docházelo k uvolňování uskladněné energie a odrazu. GRF v tomto okamžiku dosáhla lokálního maxima (viz Obr. 5, fáze t3). Tato fáze skoku byla pro analýzu dat stěžejní. Pokud by skoku nepředcházel popsáný mechanismus uskladnění elastické energie (E_k), efektivnost, výška a rychlost výskoku by byla výrazně nižší. Vyprodukovaná energie pouhým aktin-myosinovým systémem by totiž pro maximální výskok nebyla dostatečná. Při odrazu bylo zrychlení a rychlost CoM maximální, což bylo znázorněno zvyšující se amplitudou výkonu (viz Obr. 5, fáze t4 a t5). Maximum dosaženého výkonu (P_{\max}) bylo hlavním výstupem testu s2LJ. Hodnota GRF klesla (viz Obr. 5, fáze t6). V letové fázi výskoku byla pozice CoM nejvýše (viz Obr. 5, fáze D). Změna E_k na E_p závisela na času dosažení maximální výšky skoku. Výška skoku tedy byla přímo úměrná dosažené E_p . Hodnoty v a GRF byly nulové (viz Obr. 5, fáze t7). V decelerační fázi skoku byla E_p přeměňována zpět v E_k . První kontakt nohy s podložkou byl kineticky popsitelný opětovným zvýšením hodnot GRF (viz Obr. 4, fáze E; Obr. 5, fáze t8). Parametry v a P_{\max} naopak dosahovaly hodnot záporných. Následovalo vyrovnaní těla do vzpřímeného postoj, hodnoty v , GRF a P_{\max} se vrátily na počáteční hladiny (viz Obr. 4, fáze F; Obr. 5, fáze t9). Cílová pozice jedince byla totožná s pozicí výchozí (viz Obr. 4, fáze G; Obr. 5, fáze t10). Cyklus měření byl ukončen dvojitým akustickým signálem (Runge and Schacht, 2005; Veilleux and Rauch, 2010).

³ tělesná hmotnost = F_G/g , kde F_G je tíhová síla [N] a g tíhové zrychlení [m/s^2]

4.1.1.2.2 Test „multiple one-legged hopping“

Náročnější souhrn pohybových aktů vyžaduje test m1LH. Probandi byli standardizovaně instruováni následovně: „Po zaznění signálu začněte skákat na jedné noze! Důležité je, abyste měli dolní končetinu co nejvíce nataženou a zpevněnou a abyste se nedotýkaly desky patou. Představujte si, že skákáte přes švihadlo. S pažemi můžete volně pohybovat.“ V průběhu skákání následovaly další instrukce: „Teď si zaskákejte rychleji,... ještě rychleji... správně! A teď zpomalte a zkuste vyskočit výš... a ještě výš! Ale pozor, koleno mějte stále co nejvíc propnuté!“ Po několika výskocích byl proband zastaven a do dalšího signálu zůstal nehybně stát na obou končetinách, ve výchozí pozici (Runge et al., 2004; Veilleux and Rauch, 2010; Anliker and Toigo, 2012).

Důležitost skákání pouze na přední části chodidla bez dotyku desky patou byla důsledně zdůrazňována. V průběhu testu byl proband povzbuzován k lepším výsledkům, případně podrobněji instruován k provedení alespoň jednoho bezchybného výskoku. Zejména dětem mladšího školního věku, které měly potíže s udržení koordinace, bylo nabídnuto přidržování se malíku měřící osoby. Tato opora sloužila pouze pro vyrovnání balance, nikoliv pro lepší odraz dítěte.

Výchozí pozicí byl klidný stoj na obou dolních končetinách. Po zaznění akustického signálu jedinec začal skákat na jedné noze. Hlavní fáze testu je zřetelně rozkreslena ve fázích A až G na obrázku 6. Po dvou až třech výskocích byl jedinec nabádán ke zvyšování skoku, ovšem za předpokladu extendované polohy kolenního kloubu a absence dotyku paty mechanografu. Vrcholu maximální GRF (F_{\max}) bylo dosaženo těsně po doskoku, kdy byla poloha paty v nejmenší vzdálenosti od desky a zúčastněné svaly byly v maximálním protažení (viz Obr. 6, fáze D). Jakmile se vyšetřující osoba domnívala, že proband dosáhl nejlepších výsledků, tj. nejvyšší hodnoty F_{\max} , měření ukončila. Většinou se tak stávalo po vykonání přibližně dvaceti skoků. Dlouhodobější skákání nebylo efektivní. Kinetický profil testu ilustruje mechanogram na obrázku 7 (Runge et al., 2004; Veilleux and Rauch, 2010).

Realizace pohybového zadání nebyla ničím omezena, proband měl k realizaci výskoku dostatek prostoru. Test s2LJ proband provedl minimálně třikrát, test m1LH minimálně jednou pro dominantní i nedominantní dolní končetinu. Mezi jednotlivými testy byl probandovi umožněn odpočinek. Chybná a nejasná provedení skoků (příliš tvrdý dopad, přešlap, dotyk patou desky při m1LH apod.) byla bezprostředně po testu

eliminována automaticky, případně manuálně. Po dokončení mechanografické části byly dítěti ve stručnosti a formou přiměřenou jeho věku ústně sděleny výsledky testů.

4.1.1.3 Výběr výstupních dat mechanografie pro analýzu

Ačkoliv test s2LJ, příp. test m1LH, proband několikrát zopakoval, do souboru Microsoft Excel 2010 byly po manuálním výběru exportovány výsledky nejlepšího pokusu skoku. V případě testu s2LJ se jednalo o hodnoty kinetických parametrů skoku nejvyššího, v případě testu m1LH o hodnoty kinetických parametrů skoku vykonaného s nejvyšší silou. Tím byla zajištěna analýza takového pohybového vzorce, který nejlépe splňoval dané instrukce testu. Pro statistickou analýzu dat byly z množství výstupních parametrů zvoleny hodnoty maximálního svalového výkonu (P_{\max}), výkonu vztaženého k tělesné hmotnosti (P_{\max}/BM) (test s2LJ), maximální volní svalové síly (F_{\max}) dominantní končetiny a síly vztažené k tíhové síle jedince (F_{\max}/F_G) (test m1LH).

4.1.2 Antropometrická část vyšetření

Antropometrické vyšetření vycházelo z unifikovaně definovaných antropometrických bodů a standardizovaných technik měření dle Martina a Sallera (cit. podle Fetter et al., 1967 a podle Riegerová et al., 2006). Za optimálních podmínek testování bylo změřeno osm somatických charakteristik: tělesná hmotnost, dva výškové (délkové) rozměry (tělesná výška, výška vsedě), dva obvodové rozměry končetin (střední obvod paže relaxované, maximální obvod bérce) a tloušťka tří kožních řas (KŘ subskapulární, KŘ tricipitální, KŘ na zadní ploše lýtky v místě maximálního obvodu bérce). Laterální rozměry horních končetin byly měřeny na levé straně těla, dolních končetin na levé a pravé straně těla.

Tělesná hmotnost byla získána prostřednictvím mechanografu v klidové fázi každého měření s přesností na 0,5 kg. Výškové rozměry byly změřeny antropometrem, obvodové rozměry samonavíjecí pásovou mírou, oboje s přesností na 0,1 cm. Pro změření výšky vsedě byla užitá u všech probandů stejná stolička s rovným sedátkem bez vyvýšených hran. Tloušťka kožních řas byla získána použitím kaliperu Harpendenského typu s přesností odečtu 0,2 mm. Výsledky byly zanášeny do záznamových archů. Měřicí nástroje byly pravidelně ošetřovány dezinfekcí.

4.1.2.1 Výpočet somatických charakteristik

Do téhož souboru Microsoft Excel byla přepsána data získaná antropometrickým měřením a informace z dotazníků. Naměřené hodnoty tělesné výšky, tělesné hmotnosti a středního obvodu paže relaxované byly zároveň zaneseny do programu „RůstCZ“. Tento program pro hodnocení růstu dítěte byl založen na základě výsledků Celostátního antropologického výzkumu (dále jen CAV) dětí a mládeže 2001 (hodnocení výškových a obvodových rozměrů) a CAV 1991 (hodnocení tělesné hmotnosti, indexu tělesné hmotnosti, hmotnostně-výškového poměru) (Vignerová et al., 2005). Výstupními parametry programu „RůstCZ“ byla absolutní hodnota BMI a hodnoty Z-skóre tělesné výšky, tělesné hmotnosti, BMI a středního obvodu paže. Pro odhad lokálního rozvoje muskulatury horní a dolní končetiny jedince byly vypočítány korigované obvody (v rovnici zkratka „korig. o.“) paže a bérce dle obecně platné rovnice:

korig. o. segmentu končetiny = o. segmentu končetiny – $\pi \cdot$ tloušťka příslušné KŘ
(Matiegka, 1921).

Zmapování stavu tělesného složení, odhad množství FM a FFM, bylo odkázáno na použití regresní Slaughterovy rovnice dle následujícího konstruktů. Odhad podílu tělesného tuku u dívek všech věkových kategorií byl spočítán dle rovnice:

$$\begin{aligned} \% \text{ FM} &= 1,33 \cdot (\text{KŘ tricipitální} + \text{KŘ subskapulární}) \\ &- 0,013 \cdot (\text{KŘ tricipitální} + \text{KŘ subskapulární})^2 - 2,5. \end{aligned}$$

U 24 dívek, jejichž součet dvou KŘ byl vyšší hodnoty než 35 mm, byla pro odhad množství tělesného tuku užita rovnice:

$$\% \text{ FM} = 0,546 \cdot (\text{KŘ tricipitální} + \text{KŘ subskapulární}) + 9,7.$$

Pro zhodnocení podílu tukové složky u chlapců jsou k dispozici tři typy rovnic. Základ rovnice je unifikovaný:

$$\begin{aligned} \% \text{ FM} &= 1,21 \cdot (\text{KŘ tricipitální} + \text{KŘ subskapulární}) \\ &- 0,008 \cdot (\text{KŘ tricipitální} + \text{KŘ subskapulární})^2 - X. \end{aligned}$$

Parametr X představuje hodnotu regresního koeficientu, který vychází ze znalosti dosaženého stupně pohlavní maturace (podle Tannera) chlapců referenčního souboru. Pro chlapce v prepubertálním stadiu (stupeň 1 a 2) je regresní koeficient $X = 1,7$; pro chlapce v pubertě (stupeň 3) platí $X = 3,4$; pro chlapce v postpubertálním období (stupeň 4 a 5)

a dospělé (stupeň 6 a vyšší) je $X = 5,5$. Vzhledem k nemožnosti zhodnocení maturace probandů v terénních podmínkách, byli chlapci našeho souboru na základě praktických zkušeností vedoucí a konzultantů předkládané práce rozděleni do tří skupin podle chronologického věku: 1) 6,00 až 12,49 let; 2) 12,50 až 13,99 let; 3) 14,00 až 18,99 let. Důvodem pro přistoupení k tomuto řešení byl i fakt, že interindividuální variabilita v nástupu puberty u chlapců není tak markantní jako u dívek. Pro odhad tělesného složení u 17 chlapců, jejichž součet dvou KŘ hodnotově přesáhl 35 mm, byla použita rovnice:

$$\% \text{ FM} = 0,783 \cdot (\text{KŘ tricipitální} + \text{KŘ subskapulární}) + 1,6.$$

Odhad množství tukuprosté hmoty u obou pohlaví vycházel z rovnice:

$$\text{kg FFM} = \text{tělesná hmotnost} - (\% \text{ FM} \cdot \text{tělesná hmotnost})/100$$

(Slaughter et al., 1988).

Celková délka dolních končetin (subischiální délka dolních končetin) byla vypočítána jako rozdíl hodnot tělesné výšky a výšky vsedě (dále jen VV) (Fetter et al., 1967; Bláha et al., 2006). Tato významná projekivní míra posloužila pro deskripci lineární proporcionality postavy v rámci indexu výška vsedě ku subischiální délka dolních končetin. Hodnota indexu byla vyjádřena v absolutní hodnotě (dále jen VV/subischiální délka dolních končetin) (Prader et al., 1989). Z laterálních antropometrických rozměrů dolních končetin byly pro statistickou analýzu zvoleny hodnoty dominantní dolní končetiny.

Vedení několika zúčastněných škol si přálo, aby byla rodičům nabídnuta možnost získání informace o základních změřených parametrech svých dětí. Proto byla do části informovaných souhlasů vepsána věta o této možnosti s žádostí o případné uvedení kontaktního e-mailu, na který bylo zasláno několik výstupních hodnot testů s2LJ a m1LH s vysvětlením, hodnota tělesné výšky a tělesné hmotnosti dítěte.

4.2 Metody statistické analýzy dat

Získaná data byla pro statistickou analýzu upravena v softwaru Microsoft Excel 2010, poté byla implementována a zpracována ve statistickém softwaru R-3.0.0 pro Microsoft Windows (R Core Team, 2012). V programu „RůstCZ“ byla určena Z-skóre tělesné výšky, tělesné hmotnosti a BMI sledovaného souboru a tyto parametry byly porovnány s aktuálně platnými normativy pro českou populaci (Kobzová et al., 2004).

Pro určení statistické významnosti rozdílů byl použit standardní jednovýběrový t-test (Anděl, 2002).

4.2.1 Hodnocení dat pomocí metod statistické regrese

Pro zjištění závislostí výstupních parametrů JM (P_{\max} , P_{\max}/BM , F_{\max} , F_{\max}/F_G) na věku, tělesné výšce a tělesné hmotnosti s ohledem na pohlaví byl použit model kvadratické regrese (s někdy zanedbatelným kvadratickým členem). Za regresory (vysvětlující proměnné) byly zvoleny po sobě jdoucí spojité veličiny – věk, tělesná výška a tělesná hmotnost, za regresandy (vysvětlované proměnné) parametry JM. Regresandy a regresory, kromě proměnné „věk“, byly v modelech logaritmicky transformovány přirozeným logaritmem. Důvodem byla graficky vhodnější prezentace modelů a konvergence k normálnímu rozdělení. Pravděpodobnostní chyba v modelech je zvolena standardně na pravděpodobnost 1. druhu $\alpha = 0,05$ (Anděl, 2002).

V každém grafu je uvedena rovnice regresní křivky a koeficient determinace (dále jen R^2). Koeficient determinace v regresních modelech udává, jaký podíl rozptylu v pozorování vysvětlované proměnné se podařilo regresí vysvětlit, udává tedy spolehlivost modelu. Dle Chráska (1998) se vzhledem k povaze zpracovávaných dat za dostatečně spolehlivý model pokládá model s koeficientem determinace větším než 0,4.

Všechny modely jsou doplněny p-hodnotou testu shody středních hodnot chlapců a dívek. Na regresní křivky pro chlapce a dívky byl aplikován standardní dvouvýběrový Welchův t-test (test pro porovnání středních hodnot dvou výběrů nestejného rozptylu), který umožnil definovat bod rozchodu křivek pro chlapce a dívky na 5% hladině významnosti. Welchův test je jeden z případů t-testů, kdy je nutné otestovat nerovnost středních hodnot dvou výběrů s různým rozptylem, které mají normální rozdělení. Test aproximuje stupně volnosti obou testovaných vzorků tak, aby bylo možné porovnat střední hodnoty v parametrech věk, výška a hmotnost (Anděl, 2002).

Jako příklad je uveden jednoduchý model (viz Přílohy: Ostatní), ve kterém je veličina P_{\max} vysvětlována věkem probandů. Zakřivení regresní křivky lze vyčíst z hodnoty koeficientu „I(Vek^2):GenderM“, který udává změnu koeficientu u kvadratického členu pro chlapce. Hodnota koeficientu „I(Vek^2)“ udává směr a míru zakřivení regresní křivky pro dívky. Pro veličinu P_{\max} je koeficient u kvadratického členu pro dívky „I(Vek^2)“ roven $-0,0087$, regresní křivka se pro dívky stáčí směrem dolů (příslušný koeficient je významný s hodnotou menší než $2 \cdot 10^{-16}$). Pro chlapce vychází

hodnota u kvadratického členu jako součet koeficientů „ $I(\text{Vek}^2):\text{GenderM}$ “ a „ $I(\text{Vek}^2)$ “. Hodnota u kvadratického členu je tedy přibližně: $-0,0087 + 0,0065 = -0,0022$ a tato hodnota už není významně odlišná od nuly. Parametry „ GenderM “, „ $\text{Vek}:\text{GenderM}$ “ a „ $I(\text{Vek}^2):\text{GenderM}$ “ jsou veličiny, pro které je za „ GenderM “ dosazena hodnota 1 (v případě chlapců), nebo 0 (v případě dívek). Tímto postupem se dojde k modelu, kdy naměřené hodnoty závisí na věku, hmotnosti i výšce. Tyto regrese se pro chlapce a dívky liší. V každém grafu srovnávajícím regresní křivky pro chlapce a dívky, je zakreslen 95% pás spolehlivosti pro celou regresní křivku. Odhadnuté křivky se signifikantně liší v oblastech, kde se pásy při zachování správné hladiny testu nepřekrývají (Anděl, 2002).

Závislost mezi svalovou silou, resp. výkonem a hmotností nebo výškou v případě jednoduché regrese nemusí nutně znamenat, že hmotnost nebo výška přímo mechanografické parametry ovlivňuje. Může se jednat o tzv. zdánlivou korelaci (hmotnost nebo výška a síla, resp. výkon spolu souvisí, ale v obou případech za to může proměnná věk), protože s rostoucím věkem se obě dvě proměnné zvyšují. To znamená, že jsou navzájem korelované. Popsané regresní analýzy proto byly rozšířeny o modely vícenásobné regrese. Kromě regresních modelů závislosti na věku, výšce a hmotnosti byl použit model získaný automaticky pomocí krokové regrese, kdy se postupně přidávají proměnné zpřesňující model. Model vícenásobné regrese ukazuje pouze signifikanci jednotlivých proměnných. Jednotlivé regresní koeficienty však není možno validně interpretovat z důvodu multikolinearity mezi vysvětlujícími proměnnými a možnému velkému rozptylu odhadů regresních koeficientů.

Dále byla použita metoda „*sliced inverse regression*“ (dále jen SIR), zaměřená na hledání nezávislých projekcí, které nejlépe vysvětlují zadanou vysvětlovanou proměnnou (Duan and Li, 1991). Důležitost projekce je určena tzv. vlastními čísly („*eigenvalues*“) – většinou jsou důležité jedna nebo dvě projekce. Vysvětlující proměnné – věk, hmotnost a výška byly standardizovány tak, aby všechny proměnné byly ve stejném měřítku (Duan and Li, 1991).

Při konstrukci modelů, které mezi sebou porovnávají vztahy mezi somatickými charakteristikami (odhad množství FM a FFM, korigované obvody paže a bérce, index proporcionality postavy) a parametry JM, byla opět použita kvadratická regrese. Ukázalo se, že hodnoty antropometrických parametrů silně závisí na věku, výšce a hmotnosti u obou pohlaví. Z tohoto důvodu jsou zkoumané antropometrické parametry vůči věku, výšce a hmotnosti adjustovány (tzn. standardizovány pomocí podmíněných středních

hodnot a směrodatných odchylek odhadnutých neparametrickou regresí). Takto upravené veličiny potom mohly vstupovat do regresních modelů společně s věkem a pohlavím (resp. hmotností). Výstupem je odhad koeficientu, příp. častěji odhad změny v procentech a příslušná p-hodnota. Další rozšíření analýz představovaly modely s interakcí odhadu koeficientu a pohlaví a modely testující navíc Z-skóre tělesné výšky.

4.2.2 Hodnocení dat pomocí metody LMS

Pro vytvoření souboru referenčních dat parametrů JM a konstrukci věkově a hmotnostně specifických hladkých křivek byla použita statistická metoda LMS (Cole, 1988; Cole, 1990), která je vhodným nástrojem pro konstrukci referenčních standardů (Rauch et al., 2002; Vignerová et al., 2006; Zemel et al., 2009).

LMS metoda je metodou kvantilové regrese, kdy je rozdělení náhodné veličiny popsáno třemi křivkami (L, M a S). Jedná se o křivku transformačního parametru λ Box-Coxovy mocninné transformace, vztahující se k šikmosti (křivka L), křivku střední hodnoty (M) a směrodatné odchylky (S). Nejprve jsou spočítány parametry L, M a S zvlášť pro každou věkovou a hmotnostní kategorii (Rauch and Schoenau, 2008; Zemel et al., 2009). Dle rozdělení v tabulkách (viz Tab. 10 až 17) byl zafixován koeficient L tak, že pro všechny Z-skóre věku a pro Z-skóre hmotnosti u veličiny P_{\max} je $L = 0$, pro ostatní Z-skóre je $L = 0,5$. Dále byly k podmíněným středním hodnotám a podmíněným rozptylům antropometrických parametrů přiřazeny (podle stupně vyhlazení křivek) šířky pásem (parametr je volen automaticky podle Akaikeho informačního kritéria). Podmíněný rozptyl je odhadnutý odhady získanými z lokálně konstantní jádrové regrese. Podmíněná střední hodnota je odhadnutá odhady konvexní kombinace lokálně lineární a lokálně konstantní jádrové regrese s tím, že lokálně lineární vyhlazení se mění lineárně od 1 k 0 od nejmladších po nejstarší probandy. Tento princip umožňuje opravit hranice pásem jak u čistě lokálně konstantních odhadů, tak u odhadů vycházejících z čistě lineárně jádrové regrese a je možné zachytit přibližně lineárně zvyšující se trend pozorovaný u mladších probandů a zároveň je možné namodelovat spojitě oploštěné křivky u starších jedinců.

Jakmile jsou vyjádřeny křivky L, M a S, je možné snadno určit libovolnou hladkou α -kvantilovou křivku a Z-skóre.

Pro parametr $L = 0$ se Z-skóre (Z) pro měření (X) vypočítá podle vzorce:

$$Z = \ln(X/M)/S.$$

Pro parametr $L = 0,5$ se Z-skóre (Z) pro měření (X) vypočítá podle vzorce:

$$Z = [(X/M)^L - 1]/LS$$

(Cole, 1988; Cole, 1990).

Grafickým výstupem metody LMS jsou hladké kvantilové křivky, které znázorňují, jak se jednotlivé kvantily závisle proměnné mění při změně nezávisle proměnné. V tomto případě byly vytvořeny věkově a hmotnostně specifické hladké křivky, které zároveň prezentují variabilitu studovaných znaků. α -kvantily jsou vybírány symetricky.

Pro porovnání dat sledovaného souboru a souboru německých referenčních dat dětské populace (Fricke et al., 2006) byl použit rovněž Welchův t-test.

4.3 Formy prezentace výsledků

Výchozí formou prezentace výsledků jsou tabulky se statistickými charakteristikami skupiny probandů. Skupina probandů je rozdělena dle kategorií pohlaví, věku, tělesné výšky a tělesné hmotnosti. Kategorie věku je stanovena po jednom roce, kategorie tělesné výšky po 10 cm a tělesné hmotnosti intervalem 10 kg. Sledovaný soubor je rozdělen s ohledem na pohlaví do třinácti věkových skupin (od 6,00 do 18,99 let), dívky jsou dále setříděny v sedmi, chlapci v osmi kategoriích tělesné výšky (od 110,0 cm do 179,9 cm u dívek, resp. od 110,0 cm do 189,9 cm u chlapců) a ve stejném počtu kategorií tělesné hmotnosti (od 10,00 kg do 70,99 kg u dívek, resp. od 10,00 kg do 80,99 kg u chlapců). V tabulkách jsou jednotlivé kategorie uváděny pouze dolní hodnotou intervalu (např. uvedená kategorie 6 let, resp. 150 cm, resp. 50 kg koresponduje s rozpětím věku 6,00 až 6,99 let, resp. výšky 150,0 až 150,9 cm, resp. 50,0 až 50,9 kg).

Další používanou formou prezentace jsou grafy. Jeden typ grafů prezentuje regresní křivky závislosti parametrů JM na věku, tělesné výšce nebo tělesné hmotnosti s ohledem na pohlaví. V grafu je též zakreslen 95% pás spolehlivosti a je uvedena rovnice regresní křivky. Ze stejných údajů a rovnic vychází další typ grafu, který vykazuje závislosti parametrů JM na věku, výšce a hmotnosti s vyznačením hodnot antropometrických znaků podle kvartilů. Další typ grafů označuje samotnou závislost antropometrických charakteristik na věku, výšce a hmotnosti. Vzhledem k tomu, že se jedná o čistě doplňující a ilustrativní grafy této práce, rovnice proložených křivek naměřenými hodnotami uvedeny nejsou.

Zcela odlišnou formou grafů jsou grafy závislostí mechanografických parametrů na věku nebo tělesné hmotnosti s individuálními hodnotami a křivkami pro střední hodnotu a rozpětí dvou směrodatných odchylek a percentilové grafy závislostí mechanografických parametrů na věku nebo hmotnosti. Tyto grafy jsou stejně jako všechny ostatní typy grafů zkonstruovány pro dívky a chlapce zvlášť.

5 Výsledky

5.1 Vývoj maximálního svalového výkonu u dívek a chlapců

Pro základní analýzu výkonnostních schopností souboru posloužily výsledky testu s2LJ.

Vývoj maximálního svalového výkonu v absolutní (P_{\max}) a relativní (P_{\max}/BM) podobě je v této kapitole popsán ve vztahu k pohlaví, věku, tělesné výšce a tělesné hmotnosti. Výsledky průměrných hodnot a směrodatných odchylek P_{\max} a P_{\max}/BM v jednotlivých věkových, výškových a hmotnostních kategoriích jsou s ohledem na pohlaví uvedeny v tabulkách 2 až 4. Průběh logaritmicky transformovaných hodnot P_{\max} a P_{\max}/BM ve vztahu k věku, logaritmicky transformovaným hodnotám výšky a hmotnosti je ilustrován pro obě pohlaví v grafech 4 až 9.

Vývoj P_{\max} sledovaného vzorku silně závisel na věku, tělesné výšce a hmotnosti u obou pohlaví. U dívek byla závislost hodnoty $\log(P_{\max})$ na věku popsána polynomem druhého řádu. Míra zakřivení křivky byla určena hodnotou koeficientu u kvadratického členu: $-0,009$ ($p < 0,001$) (viz Graf 4). Kontinuální nárůst hodnoty P_{\max} začal po 13. roce věku zvolna ustávat, jak dokazují hodnoty uvedené v tabulce 2 a zploštění tvaru křivky (viz Graf 4, Tab. 2). Průměrná hodnota parametru P_{\max} vzrostla od 6 do 18 let u skupiny dívek o 225 %.

Hodnoty $\log(P_{\max})$ ve vztahu k věku u chlapců lineárně vzrůstaly (viz Graf 4, Tab. 2). Maxima P_{\max} bylo dosaženo u skupiny 18letých chlapců (viz Tab. 2). Průměrná hodnota parametru P_{\max} vzrostla od 6 do 18 let u skupiny chlapců o 406 %. Vztah mezi hodnotou $\log(P_{\max})$ a věkem byl z hlediska mezipohlavních rozdílů nejmarkantnější (viz Graf 4, Tab. 2). Intersexuálně unifikovaný vývoj hodnoty $\log(P_{\max})$ byl zřejmý do věku 11 let. Rozdíl mezi dívkami a chlapci bylo na 5% hladině významnosti dosaženo o dva roky později. Ve 13 letech byl rozdíl v průměrných hodnotách mezi pohlavími 12,6 %. V dalších věkových kategoriích se rozdíl mezi pohlavími prohluboval, jak dokazují průměrné hodnoty P_{\max} a dosažená hladina testu. Maximálního rozdílu mezi pohlavími bylo dosaženo v 18 letech věku. Průměrné hodnoty P_{\max} se mezi dívkami a chlapci lišily téměř o 37 %. Vyšší průměrné hodnoty P_{\max} byly napříč věkovým spektrem u chlapců (viz Tab. 2). Variabilita parametru P_{\max} mezi probandy stejného věku se s přibývajícím věkem u obou pohlaví zvyšovala (viz Grafy 20 a 22).

Z hlediska velikostních tělesných parametrů začaly být intersexuální rozdíly v parametru P_{\max} významné při tělesné výšce 160 cm a tělesné hmotnosti 50 kg (viz Tab. 3 a 4). Se vzrůstající výškou se hodnoty P_{\max} u obou pohlaví zvyšovaly, s větší razancí u chlapců (viz Tab. 3) – hodnota koeficientu u kvadratického členu závislosti $\log(P_{\max})$ na logaritmicky transformované hodnotě výšky byla 1,2, u dívek $-1,4$ (viz Graf 5). Závislost P_{\max} na tělesné hmotnosti byla u chlapců téměř lineární, hodnota koeficientu u kvadratického členu závislosti $\log(P_{\max})$ na logaritmicky transformované hodnotě hmotnosti byla téměř nulová. U dívek byla hodnota koeficientu u kvadratického členu závislosti $\log(P_{\max})$ na logaritmicky transformované hodnotě hmotnosti $-0,3$ (viz Graf 6). Variabilita parametru P_{\max} mezi probandy stejného věku se s přibývajícím hmotností u obou pohlaví zvyšovala (viz Grafy 21 a 23).

Věk, tělesná výška a hmotnost byly dle očekávání výbornými prediktory parametru P_{\max} . Důkazem byly vysoké koeficienty determinace: $R^2 = 0,83$; $0,88$ a $0,89$ pro dívky, resp. $0,85$; $0,87$ a $0,88$ pro chlapce (viz Graf 4 až 6). Testy shody regresních křivek pro P_{\max} vykazovaly mezi pohlavími ve vztahu k věku, výšce a hmotnosti signifikantní rozdíly ($p < 0,001$).

Model krokové regrese potvrdil významnou závislost parametru P_{\max} na věku, výšce a hmotnosti, a to závislost různou pro chlapce a dívky. Metoda SIR prokázala jako nejdůležitější vysvětlující faktor variability parametru P_{\max} tělesnou výšku, a to u chlapců i dívek.

Pro individuální posuzování výsledků je využíván parametr P_{\max} , resp. F_{\max} vztaženým k tělesné hmotnosti, resp. tíhové síle jedince – tedy parametr P_{\max}/BM , resp. F_{\max}/F_G (více viz kap. 1.7.2).

Závislost P_{\max}/BM na věku, tělesné výšce a hmotnosti prezentovaly opět regresní křivky (viz Grafy 7 až 9). Závislost hodnoty $\log(P_{\max}/BM)$ na věku u dívek byla stejně jako v případě P_{\max} popsána polynomem druhého řádu. Hodnoty P_{\max}/BM se od 15. do 18. roku již nezvyšovaly. U chlapců měly regresní křivky vzestupný, téměř lineární tvar. Průměrné hodnoty P_{\max}/BM se od 16 do 18 let významně neměnily. Hodnota koeficientu u kvadratického členu závislosti $\log(P_{\max}/BM)$ na věku byla u dívek $-0,002$, u chlapců $0,0008$ (viz Graf 7). Významné intersexuální rozdíly v průměrných hodnotách parametru P_{\max}/BM se projeví ve 13 letech věku ($p < 0,001$). Stejně jako v případě parametru P_{\max} byly průměrné hodnoty parametru P_{\max}/BM u starších chlapců vyšší než u starších dívek

(viz Tab. 2). Intersexuální rozdíly v parametru P_{\max}/BM byly nalezeny při výšce 150 cm ($p<0,05$) (viz Tab. 3) a hmotnosti 50 kg ($p<0,01$) (viz Tab. 4). Hodnota koeficientu u kvadratického členu závislosti $\log(P_{\max}/BM)$ na $\log(\text{tělesná výška})$ byla u dívek $-1,3$, u chlapců $1,5$ a na $\log(\text{tělesná hmotnost})$ u dívek $-0,3$ a u chlapců $0,05$ (viz Graf 8 a 9). Průměrná hodnota P_{\max}/BM se u dívek s věkem, výškou a hmotností měnila v porovnání s chlapci velmi málo (viz Grafy 7 až 9, Tab. 2 až 4). Model krokové regrese ukázal přímou závislost parametru P_{\max}/BM na věku a tělesné výšce a nepřímou závislost na tělesné hmotnosti. Metoda SIR opět potvrdila význam tělesné výšky u chlapců, u dívek pak pozitivní vliv tělesné výšky a negativní vliv tělesné hmotnosti.

Křivka vývoje P_{\max} měla vzestupnější tendenci napříč sledovanými věkovými kategoriemi než křivka vývoje P_{\max}/BM , parametru odrážejícím čistou fyzickou sílu jedince (na kilogram). To potvrdila i metoda SIR. U chlapců se svalový výkon i po přepočtu na kilogram s věkem, výškou a hmotností zvyšoval s větší intenzitou než u dívek.

5.2 Vývoj maximální svalové síly u dívek a chlapců

Pro základní analýzu silových schopností souboru posloužily výsledky testu m1LH. Vývoj maximální volní svalové síly dominantní končetiny probanda v absolutní (F_{\max}) a relativní (F_{\max}/F_G) formě je v této kapitole podobně jako v předchozí popsán ve vztahu k pohlaví, věku, tělesné výšce a tělesné hmotnosti. Výsledky průměrných hodnot a směrodatných odchylek F_{\max} a F_{\max}/F_G v jednotlivých věkových, výškových a hmotnostních kategoriích jsou s ohledem na pohlaví představeny v tabulkách 5 až 7. Průběh logaritmicky transformovaných hodnot F_{\max} a F_{\max}/F_G ve vztahu k věku, logaritmicky transformovaným hodnotám výšky a hmotnosti je pro obě pohlaví doložen v grafech 10 až 15.

Vývoj F_{\max} sledovaného souboru dívek a chlapců podobně jako P_{\max} významně závisel na věku, tělesné výšce a hmotnosti u obou pohlaví. Tvary regresních křivek popisující závislosti F_{\max} na věku, výšce a hmotnosti se značně podobaly tvarům křivek závislosti P_{\max} na těchto regresorech (viz Grafy 10 až 12). Závislost hodnoty $\log(F_{\max})$ na věku u dívek byla opět popsána polynomem druhého řádu. Míra zakřivení regresní křivky byla dána hodnotou koeficientu u kvadratického členu: $-0,006$ ($p<0,001$) (viz Graf 10). Průměrná hodnota parametru F_{\max} vzrostla od 6 do 18 let u skupiny dívek o 59,5 %.

U chlapců byl vývoj průměrné hodnoty F_{\max} s věkem podobně jako v případě P_{\max} téměř lineárního charakteru, maxima bylo dosaženo v 18 letech věku (viz Graf 10, Tab. 2). Průměrná hodnota parametru F_{\max} vzrostla od 6 do 18 let u skupiny chlapců o 73,5 %. Intersexuální rozdíl v průměrných hodnotách F_{\max} se na 5% hladině významnosti projevil ve 14 letech věku (rozdíl byl 13,2 %). V dalších letech se tento rozdíl dle očekávání prohluboval, nicméně v menší míře než u průměrných hodnot parametru P_{\max} . Průměrné hodnoty F_{\max} se mezi 18letými dívkami a chlapci lišily téměř o 27 % (viz Tab. 2). Variabilita parametru F_{\max} mezi stejně starými jedinci se s přibývajícím věkem u obou pohlaví zvyšovala (viz Grafy 20 a 22). Test shody regresních křivek pro dívky a chlapce vykazoval signifikantní intersexuální rozdíly pro závislost parametru F_{\max} na věku ($p < 0,001$) a méně na tělesné hmotnosti ($p < 0,04$). Intersexuální rozdíly v parametru F_{\max} začaly být významné v nejvyšších hmotnostních kategoriích – od hmotnosti 70 kg (viz Tab. 4). Naopak statisticky významné rozdíly mezi pohlavími nebyly nalezeny při analýze vztahu F_{\max} a tělesná výška.

Největší část celkové variability parametru F_{\max} vysvětloval regresor tělesná hmotnost, jak se očekávalo. Důkazem byly vysoké koeficienty determinace. Kroková regrese prokázala signifikantní vliv tělesné hmotnosti a věku na tento parametr. Metoda SIR potvrdila významný vliv tělesné hmotnosti u dívek, zatímco u chlapců nadále dominoval vliv tělesné výšky.

Vývoj parametru F_{\max}/F_G se od dosud popsaných schémat výrazně odlišoval. Jak ilustrují grafy 13 až 15, vztahy mezi F_{\max}/F_G a věkem, tělesnou výškou a hmotností byly ve sledované subpopulaci jak intersexuálně, tak intrasexuálně konstantní. Zejména u dívek byly rozdíly průměrné hodnoty F_{\max}/F_G napříč sledovanou věkovou škálou minimální. Signifikantní rozdíl mezi pohlavími byl patrný až u dospělých jedinců a jedinců vyšších než 170 cm ($p < 0,001$) (viz Tab. 5). Zajímavé je, že hodnoty F_{\max}/F_G byly u dívek ve věku 6 až 12 let, při výšce 110 až 150 cm a hmotnosti 10 až 40 kg vyšší než u chlapců. Stabilitu parametru F_{\max}/F_G ve vztahu k věku, tělesné výšce a tělesné hmotnosti dobře ilustrovaly velmi nízké koeficienty determinace ($R^2 = 0,0$; 0,0 a 0,01 u dívek, resp. 0,16; 0,1 a 0,07 u chlapců). Tento výsledek potvrdil i model krokové regrese a metoda SIR.

Výsledky popsané v této kapitole ukazují, že svalová síla (F_{\max}) byla výrazně determinována tělesnou hmotností ($R^2 = 0,91$ pro dívky, resp. 0,92 pro chlapce), tělesnou výškou ($R^2 = 0,81$ pro dívky, resp. 0,85 pro chlapce) a věkem ($R^2 = 0,74$ pro dívky, resp. 0,83 pro chlapce). Křivka vývoje F_{\max} měla vzestupnou tendenci, křivka vývoje F_{\max}/F_G měla

ve vztahu ke všem vysvětlujícím proměnným konstantní průběh u obou pohlaví. Pouze u 18letých chlapců se hodnoty F_{\max}/F_G signifikantně zvýšily. Průměrná hodnota parametru F_{\max} se zvyšovala podobně jako hodnota parametru P_{\max} výrazněji u chlapců než u dívek, zejména ve vztahu k věku. Rozdíly mezi pohlavími ve vývoji parametru F_{\max} v závislosti na tělesné výšce a hmotnosti byly prakticky zanedbatelné.

5.3 Vliv tělesného složení na svalovou sílu a výkon u dívek a chlapců

Pro konstrukci vztahů mezi parametry JM a odhadnutým množstvím tělesného tuku (FM), odhadnutým množstvím tukuprosté hmoty (FFM), korigovaným obvodem paže a korigovaným obvodem bérce byly rovněž použity modely kvadratické regrese. Do modelů vstupovaly regresory: věk, adjustované Z-skóre tělesné hmotnosti, Z-skóre tělesné výšky a Z-skóre konkrétního antropometrického parametru (více viz kap. 4.2.1). Modely s interakcí Z-skóre parametru a pohlaví a modely doplněné o Z-skóre tělesné výšky byly často irelevantní, proto je o nich v následujících odstavcích zmínka pouze v případě jejich signifikance. Rozložení průměrných hodnot a příslušných směrodatných odchylek somatických charakteristik souboru vzhledem k věku jsou uvedeny v tabulkách 8 a 9.

Procento **odhadnutého množství FM** u dívek se v průběhu celého věkového období, s přibývajícím výškou a hmotností kontinuálně zvyšovalo. U chlapců se odhadnuté množství FM s věkem, výškou a hmotností u chlapců kontinuálně zvyšovalo do 10 let věku, 150 cm výšky a 60 kg hmotnosti. Poté se začalo snižovat. Největší vliv na snížení odhadnutého množství FM měla tělesná výška. Dívky disponovaly napříč věkovými, výškovými a hmotnostními kategoriemi vyššími průměrnými hodnotami FM než chlapci, rozptyl hodnot FM byl vyšší u chlapců než u dívek (viz Graf 16, Tab. 8 a 9).

Vyšší podíl odhadnutého množství FM podle očekávání snižoval hodnoty parametrů P_{\max} , P_{\max}/BM , F_{\max} a F_{\max}/F_G u obou pohlaví. Příkladem může být vliv odhadnutého množství FM na parametr P_{\max} ve vztahu k tělesné hmotnosti u chlapců. Při stejné tělesné hmotnosti měli vyšší hodnoty parametru P_{\max} chlapci s nižším podílem odhadnutého množství FM (viz Graf 17).

Nepřímou závislost potvrdila regresní analýza pracující s odhadnutým množstvím FM a s eliminací vlivu věku a hmotnosti. Ukázalo se, že pokud měl jedinec o jednu směrodatnou odchylku vyšší odhadnuté množství FM, měl hodnotu $\log(P_{\max})$ o 6,7 %

nižší, resp. hodnota P_{\max} se snížila koeficientem 0,9355 ($=e^{-0,0674}$). Pokud měl jedinec o jednu směrodatnou odchylku nižší odhadnuté množství FM, měl hodnotu $\log(P_{\max})$ o 6,7 % vyšší, resp. hodnota P_{\max} se zvýšila koeficientem 1,0692 ($=e^{0,067}$). Při stejném věku a tělesné hmotnosti jedinců v hodnotách ± 2 směrodatných odchylek FM se hodnoty P_{\max} lišily o 26,9 % (koeficienty 1,143 a 0,874).

Nepřímá závislost se též prokázala analýzou vztahu mezi parametrem P_{\max}/BM a odhadnutým množstvím FM. Jednotková změna Z-skóre odhadnutého množství FM po eliminaci vlivu věku a hmotnosti odpovídala změně hodnoty P_{\max}/BM koeficientem 0,9665, resp. 1,0346, a to v nepřímém vztahu. Při stejném věku a tělesné hmotnosti jedinců v hodnotách ± 2 SD FM se hodnota P_{\max}/BM lišila o 29,7 % (koeficienty 1,159 a 0,862).

Vztah parametrů F_{\max} a F_{\max}/F_G k odhadu Z-skóre odhadnutého množství FM byl oproti výkonnostním parametrům téměř poloviční. Jednotková změna Z-skóre odhadnutého množství FM po eliminaci vlivu věku a hmotnosti odpovídala změně hodnoty F_{\max} koeficientem 0,9666, resp. 1,0345, opět v nepřímém vztahu. Při stejném věku a tělesné hmotnosti jedinců v hodnotách ± 2 SD FM se hodnota F_{\max} lišila o 13,6 %. Jednotková změna Z-skóre odhadnutého množství FM po eliminaci vlivu věku a hmotnosti odpovídala změně hodnoty F_{\max}/F_G koeficientem 0,9617, resp. 1,0398, v nepřímém vztahu. Při stejném věku a tělesné hmotnosti jedinců v hodnotách ± 2 SD FM se hodnota F_{\max} lišila o 15,6 %.

P-hodnota uvedených modelů byla vždy menší než 0,001. Podíl odhadnutého množství FM ovlivňoval více relativní parametry JM než absolutní.

Vývoj **odhadnutého množství FFM** s věkem, výškou a hmotností byl stejného charakteru jako vývoj P_{\max} , jak ukazují tvary příslušných regresních křivek (viz Graf 18). Nárůst odhadnutého množství FFM s věkem, tedy ukončováním tělesného růstu, u dívek zvolna ustával, u chlapců pokračoval. Od 6 do 18 let věku se odhadnuté množství FFM (v kg) u dívek zvýšilo o 56,5 % (tělesná hmotnost se zvýšila o 59,2 %), u chlapců o 65,5 % (tělesná hmotnost se zvýšila o 65,4 %). S tělesnou výškou a hmotností se odhadnuté množství FFM u obou pohlaví lineárně zvyšovalo. Celkový rozptyl hodnot FFM byl oproti hodnotám FM ve vztahu ke všem vysvětlujícím proměnným u obou pohlaví výrazně menší (viz Graf 18, Tab. 8 a 9).

⁴ kde konstanta „e“ = 2,7183

Eliminace vlivu věku a tělesné hmotnosti ukázala, že vývoj P_{\max} reagoval citlivěji na měnící se FFM než FM.

Jednotková změna Z-skóre odhadnutého množství FFM odpovídala změně hodnoty P_{\max} koeficientem 0,8789, resp. 1,1376, a to v přímém vztahu. Při stejném věku a tělesné hmotnosti jedinců v hodnotách ± 2 SD FFM se hodnota P_{\max} lišila o 52,2 %.

Jednotková změna Z-skóre odhadnutého množství FFM odpovídala změně hodnoty P_{\max}/BM koeficientem 0,8833, resp. 1,1320, F_{\max} koeficientem 0,9057, resp. 1,1041 a F_{\max}/F_G koeficientem 0,9204, resp. 1,0865, pro všechny případy v přímém vztahu. Při stejném věku a tělesné hmotnosti jedinců v hodnotách ± 2 SD FFM se hodnota P_{\max}/BM lišila o 50,1 %, F_{\max} o 39,9 %, F_{\max}/F_G o 33,4 %. V případě parametru F_{\max}/F_G byl též důležitý vliv tělesné výšky ($p < 0,05$), proto byl další model doplněn o Z-skóre tělesné výšky. Výsledek této úpravy lze interpretovat následovně: jednotková změna Z-skóre odhadnutého množství FFM odpovídala změně hodnoty F_{\max}/F_G koeficientem 0,9012, resp. 1,1084, platil opět vztah přímé úměrnosti. Při stejném věku a tělesné hmotnosti jedinců v hodnotách ± 2 SD FFM se hodnota F_{\max} lišila o 41,5 %.

Podíl odhadnutého množství tukuprosté hmoty měl větší vliv na svalový výkon než na svalovou sílu.

Odhadnuté množství FFM tedy vysvětlilo variabilitu parametrů JM po eliminaci vlivu věku, hmotnosti, eventuálně výšky poměrně významně. Ukázalo se, že odhadnuté množství FFM bylo významnou vysvětlující proměnnou parametru P_{\max} ($R^2=0,92$, $p < 0,001$) i parametru F_{\max} ($R^2=0,93$, $p < 0,001$). Hodnoty koeficientů determinace sice byly v případě regresoru „odhadnuté množství FFM“ vyšší než v případě samotné tělesné hmotnosti, ale rozdíly mezi nimi byly jen v řádu setin. Variabilita relativních mechanografických parametrů byla regresorem FFM vysvětlena z méně než 40 %. Pro základní vyšetření svalové síly a výkonu v praxi postačí znalost tělesné hmotnosti bez ohledu na podíl jednotlivých komponent tělesného složení.

Vysoké hodnoty korelačních koeficientů pro závislost odhadnutého množství FFM a **korigovaného obvodu paže**, resp. **korigovaného obvodu bérce** u sledované skupiny (0,98 pro dívky a 0,99 pro chlapce, resp. 0,99 pro dívky a 0,99 pro chlapce) potvrdily, že lokální vývoj muskulatury s komplexním vývojem muskulatury korespondoval. Korigované obvody končetin byly u chlapců vyšších hodnot než u dívek (viz Tab. 8 a 9).

Závislost P_{\max} a P_{\max}/BM na korigovaném obvodu paže byla přímá a významná ($p<0,001$). Po eliminaci vlivu věku, hmotnosti a výšky lze říci, že jednotková změna Z-skóre korigovaného obvodu paže odpovídala změně hodnoty P_{\max} koeficientem 0,9371, resp. 1,0671, hodnoty P_{\max}/BM koeficientem 0,9465, resp. 1,1163. Při stejném věku a tělesné hmotnosti jedinců v hodnotách ± 2 SD korigovaného obvodu paže se hodnota P_{\max} lišila o 26,1 % a P_{\max}/BM o 22 %.

Vliv korigovaného obvodu paže na F_{\max} byl po eliminaci vlivu věku a hmotnosti výrazně nižší, ale stále významný ($p<0,05$), na F_{\max}/F_G byl prakticky zanedbatelný. Jednotková změna Z-skóre korigovaného obvodu paže odpovídala změně hodnoty F_{\max} koeficientem 0,97531, resp. 1,0253, a změně hodnoty F_{\max}/F_G koeficientem 0,9861, resp. 1,0141, rovněž v přímém vztahu. V rámci krajních hodnot bylo tímto parametrem vysvětleno minimum variability obou parametrů.

Závislost P_{\max} a P_{\max}/BM na korigovaném obvodu bérce byla též přímá a významná ($p<0,001$). Po eliminaci vlivu věku, hmotnosti a výšky se zjistilo, že jednotková změna Z-skóre korigovaného obvodu bérce odpovídala změně hodnoty P_{\max} koeficientem 0,9474, resp. 1,0555, a změně hodnoty P_{\max}/BM koeficientem 0,9503, resp. 1,0523, rovněž v přímém vztahu. Při stejném věku, výšce a hmotnosti jedinců v hodnotách ± 2 SD korigovaného obvodu bérce se hodnota P_{\max} lišila o 21,6 % a P_{\max}/BM o 20,4 %.

Po eliminaci vlivu věku a hmotnosti byla mezi parametry F_{\max} , resp. F_{\max}/F_G a korigovaným obvodem bérce prokázána rovněž přímá závislost ($p<0,01$). Jednotková změna Z-skóre korigovaného obvodu bérce korespondovala se zvýšením parametru F_{\max} koeficientem 0,9666, resp. 1,0346, a parametru F_{\max}/F_G koeficientem 0,9743, resp. 1,0263. K vysvětlení běžné variability obou parametrů přispíval korigovaný obvod bérce poměrně málo: 13,6 % pro F_{\max} a 10,4 % pro F_{\max}/F_G . Závislost F_{\max} a F_{\max}/F_G na korigovaném obvodu bérce byla významnější než na korigovaném obvodu paže.

Výsledky popsané v této kapitole ukazují, že svalový výkon vykazoval s tělesným složením oproti svalové síle výraznější závislosti.

5.4 Vliv proporcionality postavy na svalový výkon a sílu u dívek a chlapců

Pro určení vztahu mezi mechanografickými parametry a proporcionalitou postavy (index výška vsedě/subischiální délka dolních končetin) byl též použit model kvadratické regrese. Do modelů vstupovaly regresory: věk, adjustované Z-skóre tělesné hmotnosti, Z-skóre tělesné výšky a Z-skóre indexu proporcionality postavy (více viz kap. 4.2.1). Rozložení průměrných hodnot a příslušných směrodatných odchylek indexu souboru vzhledem k věku je uvedena v tabulkách 8 a 9.

Průměrná hodnota poměru délky trupu (výšky vsedě) k délce dolních končetin se u dívek od 6 do 12 let věku snižovala, poté mírně zvyšovala (viz Graf 19). U skupiny chlapců byla situace podobná (viz Graf 19). Průměrná hodnota indexu proporcionality postavy klesala do věku 14 let, a to z vyšších počátečních hodnot, do dospělosti se též mírně zvýšila.

Vliv proporcionality postavy byl na parametr P_{\max} u dívek zanedbatelný, u chlapců významný na 5% hladině. Jednotková změna Z-skóre parametru VV/subischiální délka dolních končetin odpovídala u chlapců změně hodnoty P_{\max} koeficienty 0,991 a 1,009, a to v nepřímém vztahu. Vliv proporcionality postavy byl na parametr P_{\max}/BM u dívek významný na 5% hladině, u chlapců zanedbatelný. Jednotková změna Z-skóre parametru VV/subischiální délka dolních končetin u dívek odpovídala změně hodnoty P_{\max}/BM koeficienty 0,9861 a 1,014, opět v nepřímém vztahu. Jinak řečeno, čím měl jedinec vyšší index proporcionality postavy, tedy relativně kratší končetiny, tím měl nižší hodnotu P_{\max} , resp. P_{\max}/BM . Po eliminaci vlivu věku, hmotnosti i výšky se zjistilo, že vliv proporcionality postavy na parametry F_{\max} a F_{\max}/F_G byl zanedbatelný.

Proporcionalita postavy ovlivňovala parametry P_{\max} , P_{\max}/BM , F_{\max} a F_{\max}/F_G minimálně.

5.5 Vytvoření referenčních dat pro parametry mechanografie

Z hlediska rozšíření aplikace JM v pediatrické praxi bylo nejdůležitějším cílem předkládané práce vytvoření setu referenčních dat a percentilových grafů pro parametry JM zdravých dívek a chlapců. Hodnoty parametrů v těchto analýzách vystupují v logaritmicky netransformované podobě. Pro konstrukci grafů byla použita statistická

metoda LMS (více viz kap. 4.2.2). Jedna skupina grafů ukazuje závislosti parametrů P_{\max} , P_{\max}/BM , F_{\max} a F_{\max}/F_G na věku nebo hmotnosti každého probanda zvlášť (viz Grafy 20 a 21). Zakreslena je střední hodnota a ± 2 směrodatné odchylky vymezující normální rozdělení daného parametru ve sledovaném vzorku populace. Variabilnější vývoj zejména parametrů P_{\max} a P_{\max}/BM byl zaznamenán v prostoru vymezeném od střední hodnoty $+2$ směrodatnými odchylkami než -2 směrodatnými odchylkami. Druhou skupinou jsou pohlavně specifické vyhlazené percentilové grafy pro P_{\max} , P_{\max}/BM , F_{\max} a F_{\max}/F_G ve vztahu k věku nebo hmotnosti (viz Grafy 22 a 23). Hladké kvantilové křivky znázorňují, jak se jednotlivé kvantily veličin JM mění při změně věku nebo tělesné hmotnosti. Hodnoty parametrů L, M a S jsou spolu s hodnotami 3., 10., 50., 90. a 97. percentilu konkrétních mechanografických parametrů ve vztahu k věku a tělesné hmotnosti uvedeny v tabulkách 10 až 17.

6 Diskuze

Diplomová práce je pilotní transversální studií zaměřenou na hodnocení svalové síly a výkonu u zdravých jedinců (432 dívek, 364 chlapců) ve věku 6 až 18 let pomocí metody „(Leonardo) jumping mechanography“. Podle dosavadních informací a publikovaných prací je předkládaná práce první studií zabývající se mechanografickým vyšetřením parametrů svalové funkce zdravých dětí v České republice a ještě do června 2013 se jednalo o práci s početně nejzastoupenějším statisticky zpracovaným vzorkem výsledků JM (796 jedinců). Tato práce charakterizuje parametry P_{\max} , P_{\max}/BM , F_{\max} a F_{\max}/F_G nejen ve vztahu ke standardně užívaným prediktorům (pohlaví, věk, tělesná výška, tělesná hmotnost), ale také k parametrům ve spojení s mechanografií neotřelým, popisujícím podrobněji somatický profil jedince (odhadnuté množství tělesného tuku, odhadnuté množství tukuprosté hmoty, korigované obvody segmentů, index proporcionality postavy). Dalším výstupem práce je vytvoření souboru referenčních dat pro parametry JM a percentilových grafů parametrů JM ve vztahu k věku a tělesné hmotnosti.

Výsledky práce zřetelně potvrdily hypotézu o významné závislosti rozvoje svalové síly a výkonu na věku, tělesné výšce a tělesné hmotnosti u obou pohlaví. Vlastní vliv věku, tělesné výšky a hmotnosti na mechanografické parametry bylo obtížné oddělit. Hlavním důvodem byla povaha těchto proměnných. Věk, výška a hmotnost jsou si navzájem tzv. *confoundery*, protože do vzorce:

$$F = m \cdot g,$$

kde F je svalová síla [N], m tělesná hmotnost [kg] a g tíhové zrychlení [m/s^2], vstupuje hodnota věku a tělesné výšky přes veličinu tělesná hmotnost.

Model krokové regrese a metoda SIR prokázaly klíčový vliv tělesné výšky na svalový výkon a zásadní vliv tělesné hmotnosti na svalovou sílu.

Tvary regresních křivek závislostí parametru P_{\max} a parametru F_{\max} na věku si byly velmi podobné. V prepubertálním období se průměrné hodnoty obou parametrů lineárně zvyšovaly se stejnou dynamikou u dívek a chlapců. Signifikantní intersexuální rozdíl v průměrných hodnotách parametru P_{\max} , resp. parametru F_{\max} nastal ve věku 13, resp. 14 let. U dívek v dalších letech průměrné hodnoty P_{\max} i F_{\max} postupně stagnovaly, u chlapců se nadále zvyšovaly. Průměrné hodnoty parametru P_{\max} a parametru F_{\max} se s přibývajícím tělesnou výškou a hmotností téměř lineárně zvyšovaly u obou pohlaví.

Popsané rozdíly jsou pravděpodobně výsledkem dvou hlavních faktorů: 1) pohlavně specifickou dynamikou růstu těla – dívky ukončují růst časněji než chlapci (růstové ploténky se u chlapců uzavírají později než u dívek) a vzhledem k tomu, že je svalová funkce funkcí tělesné výšky, očekává se, že budou mít starší chlapci vyšší absolutní sílu a výkon než dívky (Fetter et al., 1967; Martin et al., 2004); a 2) odlišným působením testosteronu a estrogenů na stav kosterní svalové tkáně u dívek a chlapců. Testosteron a jemu podobné androgeny působí na svalovou tkáň silným anabolickým účinkem, který je zprostředkován různými myogenními mechanismy a cestami. Zvýšená hladina testosteronu se projeví nejen nárůstem kosterní svalové hmoty, ale také zvýšením svalového tonu a svalové síly (Bhasin et al., 2001). K nejmohutnějšímu rozvoji svalové tkáně dochází u chlapců po pubertálním růstovém spurtu, tedy průměrně v 16 až 17 letech, a dále v období adolescence. Vliv estrogenů na svalovou funkci příliš výrazný není, ačkoliv je známý určitý způsob působení estrogenů na činnost myosinu (Lowe et al., 2010; Wild et al., 2013).

Na mezipohlavních rozdílech v průměrných hodnotách parametru P_{\max} se též pravděpodobně odráží maximální rychlost kontrakce kosterního svalu, která je podmíněna zejména vývojem neuromuskulárních faktorů kvalitativní povahy (typ svalových vláken, glykolytické možnosti, aktivace motorických jednotek apod.) (Martin et al., 2004). Statistické analýzy hodnot maximální rychlosti a maximální síly získané testem s2LJ jako samostatných veličin budou předmětem dalších studií.

V praxi je důležité minimalizovat efekty interindividuálních rozdílů v tělesné hmotnosti úpravou absolutních hodnot P_{\max} a F_{\max} právě vzhledem k tělesné hmotnosti, resp. tíhové síle jedince (Lang et al., 2013). Parametr P_{\max}/BM reflektuje čistou fyzickou sílu jedince (na kilogram). Není proto překvapením, že se průměrná hodnota tohoto parametru zvyšovala s věkem u chlapců výrazněji než u dívek. Křivka vývoje P_{\max}/BM měla méně vzestupnou tendenci napříč sledovanými věkovými kategoriemi než křivka vývoje P_{\max} .

Křivka F_{\max}/F_G vykazovala konstantní průběh bez ohledu na zvolený prediktor (věk, výška, hmotnost) u obou pohlaví. Pouze v nejstarší věkové kategorii chlapců se hodnoty F_{\max}/F_G signifikantně zvýšily. Průměrná hodnota parametru F_{\max}/F_G byla u celého souboru 3,1. Mladší chlapci měli hodnoty nesignifikantně nižší a starší chlapci poněkud vyšší.

Získání validních výsledků testu m1LH je též podmíněno správným zadáním instrukcí a technicky správně provedenými výskoky. Jak bylo popsáno v kapitole 4, účastníci této studie byli standardizovaně instruováni ke kontinuálnímu poskakování na jedné noze a ke střídání tempa a výšky výskoků, dle pokynů uvedených v publikaci Veilleux a Rauch (2010). Mimořádný důraz byl kladen na udržení maximálně extendovaného kolenního kloubu a udržení paty bez kontaktu s podložkou v průběhu celého měření. Pokud by jedinec skákal pouze rychle nebo vysoko, není zaručeno, že dosáhne skutečně maximální volní svalové síly. Důkazem mohou být výsledky studií Ward a spol. (2009, 2010), jejichž účastníci byli nabádáni pouze k co nejrychlejším výskokům. Výsledkem byly snížené hodnoty maximální volní svalové síly probandů ($F_{\max}/F_G = 2,7$ až $2,8$) (Ward et al., 2009; Ward et al., 2010) vůči standardní hodnotě F_{\max}/F_G 3,0 až 3,5 (Anliker et al., 2011; Anliker and Toigo, 2012). Aplikace techniky podle Ward a spol. u podskupiny zdravých dívek a chlapců potvrdila, že v případě pouze nejrychlejších skoků jsou hodnoty F_{\max}/F_G sniženy: o 0,15 až 0,3 od průměrné hodnoty souboru (tyto analýzy v sekci „Výsledky“ zahrnuty nejsou). Pro validní interpretaci dat a interindividuální srovnávání musí být zároveň zohledněna laterální končetiny, pro kterou jsou výsledky analyzovány.

Hypotézy týkající se vlivu tělesného složení na parametry JM se potvrdily – vyšší procento odhadnutého množství tělesného tuku hodnoty parametrů P_{\max} , P_{\max}/BM , F_{\max} a F_{\max}/F_G snižovalo, naopak vyšší hmotnost odhadnutého množství tukuprosté hmoty všechny studované parametry JM zvyšovala. Svalový výkon závisel na komponentách tělesného složení odhadnutých pomocí Slaughterových rovnic výrazněji než svalová síla. Zejména odhadnuté množství FFM přispívalo k vysvětlení variability mechanografických parametrů poměrně významně (52,7 % pro P_{\max} , 50,1 % pro P_{\max}/BM , 39,9 % pro F_{\max} po eliminaci vlivu věku a hmotnosti, resp. 41,5 % pro F_{\max}/F_G po eliminaci vlivu věku, hmotnosti i výšky). Možným vysvětlením je těsnější funkční souvislost mezi skokem do výšky (test s2LJ) a kosterním svalstvem než mezi poskoky na jedné noze (test m1LH) a kosterním svalstvem. Pro dosažení maximálního svalového výkonu ve fázi výskoku je důležité vedle stavu motorické výkonnosti, potažmo pohybového výkonu, zastoupení muskulatury, kvalitativních a kvantitativních faktorů svalstva. Na dosažení maximální volní svalové síly, která je detekována ve fázi doskoku, má zřejmě zásadnější význam tělesná hmotnost jako taková. Podíl tělesného tuku a tukuprosté hmoty zřejmě není v tomto případě u zdravých dětí příliš zásadní. Pro kvalitní interpretaci výsledků svalové síly

a výkonu jedince získaných JM proto není bezpodmínečně nutné znát zastoupení jednotlivých komponent tělesného složení, pro dostatečnou analýzu výsledků JM postačí znalost tělesné hmotnosti.

Závislost parametrů P_{\max} a P_{\max}/BM na korigovaném obvodu paže (svalstvu horních končetin) a bérce (svalstvu dolních končetin) byla významná. Závislost parametrů F_{\max} a F_{\max}/F_G byla na korigovaném obvodu bérce rovněž významná, na korigovaném obvodu paže hraniční. Rozdílný vliv korigovaného obvodu paže na svalovou sílu a výkon může vyplývat z realizace pohybových úkonů jednotlivých testů – výskok snožmo je primárně založen na pohybové koordinaci celého těla, celkové muskulatuře (fáze „*counter-movement*“, švih paží), poskoky na jedné noze na excentrické kontrakci svalstva dolní končetiny (extendovaný kolenní kloub, udržení paty od podložky, bez švihu paží). Aktivita svalů horní končetiny se tedy na realizaci pohybového zadání testu m1LH přímo neprojevuje. Zajímavým zjištěním je, že vliv proporcionality postavy na všechny studované parametry JM byl prakticky zanedbatelný. V klinické praxi není nezbytně nutné podrobovat všechny skupiny pacientů podrobnějšímu antropologickému vyšetření.

Předkládaná práce dále prezentuje soubor referenčních dat základních výstupních parametrů testů s2LJ a m1LH, nejčastěji užívaných testů mechanografie, ve vztahu k pohlaví, věku a tělesné hmotnosti zdravých dívek a chlapců. Vytvoření takového souboru bylo zcela na místě vzhledem k tomu, že je aplikace a správná interpretace výstupních dat mechanografie, stejně jako jakékoliv jiné metody, v pediatrické praxi podmíněna dostupností vhodných referenčních dat. Ačkoliv publikací zaměřených na vyšetřování svalové funkce pacientů pomocí JM rychle přibývá, ještě do června 2013 byl k dispozici pouze jeden soubor pediatrických referenčních dat, a to pouze dvou hlavních výstupních parametrů pouze testu s2LJ (Fricke et al., 2006). Výsledky Frickeho práce jsou prezentovány ve formě průměrných hodnot a směrodatných odchylek. Výrazným limitem této studie byl poměrně malý soubor vyšetřených jedinců (177 dívek a 135 chlapců německé národnosti ve věku 6 až 21 let). Výsledky publikace Fricke a spol. (2006) a výsledky této práce byly mezi sebou porovnány. Rozdíly ve výsledcích průměrných hodnot parametru P_{\max} testu s2LJ mezi studovanými populacemi byly nevýznamné. P-hodnoty testu celkového rozdílu v parametru P_{\max} vzhledem k věku (viz Graf 24), tělesné výšce a hmotnosti se pohybovaly v rozpětí 0,56 až 0,91. Tímto úkonem se potvrdila reprodukovatelnost testu s2LJ mezi sousedními populacemi, což je dobrý předpoklad pro

používání mechanografie jako nástroje hodnocení svalové funkce pacientů v rámci mezinárodní spolupráce pracovních týmů.

V červnu 2013 přibyly na kontě mechanografie další dva soubory referenčních dat pro parametry F_{\max}/F_G , P_{\max} a P_{\max}/BM testu s2LJ, parametry F_{\max}/F_G a P_{\max}/BM testu tzv. „*chair rising test*“ (Busche et al., 2013) a parametr F_{\max}/F_G testu m1LH (Lang et al., 2013). Obě práce zpracovávaly výsledky téhož datasetu čítajícího 868 zdravých jedinců německé národnosti (432 chlapců, 436 dívek) ve věku 3 až 19 let. Hlavními výstupy obou prací jsou regresní rovnice daných parametrů JM ve vztahu k pohlaví a věku a grafické vyjádření jednotlivých naměřených výsledků probandů s ohledem na pohlaví, věk a tělesnou hmotnost. Výsledky předkládané práce a studií Busche a spol. a Lang a spol. vykazují obdobné trendy, podrobnější srovnání bude provedeno.

Výrazným pozitivem předkládaného souboru referenčních dat je forma prezentace výsledků – percentilové grafy obecně jsou praktickým a uživatelsky jednoduchým nástrojem hodnocení aktuálního stavu dané charakteristiky pacienta vzhledem k vrstevníkům, jedincům stejné tělesné výšky nebo hmotnosti. Tento soubor dat by tak mohl být užitečnou pomůckou pro pediatry vyšetřující svalovou funkci pacientů pomocí mechanografie. Výhodou je též možnost výběru percentilových grafů – zejména u pacientů s vyšší nebo nižší tělesnou hmotností než by odpovídala věku, je obzvlášť při hodnocení výsledků testu m1LH vhodnější upřednostnit grafy vztažené k tělesné hmotnosti, nikoliv k věku.

Přidanou hodnotou práce je i dříve naznačená skutečnost, že veškerá mechanografická měření realizovaly maximálně tři stejné osoby (autorka práce samostatně změřila cca 460 probandů a u všech ostatních měření byla k dispozici) a veškerá antropometrická měření pouze autorka práce. Tímto způsobem práce byla zajištěna minimální desinterpretace chyb v instruktážní části měření a maximální spolehlivost mechanografického a antropometrického vyšetření. Vzhledem k tomu, že se na individuálních hodnotách parametrů JM podílí kromě stavu tělesné kondice a motorické výkonnosti psychický stav a pozornost jedince, byla snaha zajistit probandům maximálně přívětivé a přátelské prostředí. Časový interval kompletní realizace práce v terénu byl poměrně krátkého trvání (11 měsíců).

Na druhou stranu nutno říci, že tato studie má určitá omezení. I když byla snaha zajistit maximální reprezentativnost souboru náhodným výběrem (v podobě rozdání listů

s nabídkou účasti ve studii všem žákům a studentům konkrétních škol), nebyl při sběru dat použit standardní populačně-systematický přístup (výběr měst, škol, tříd vycházel z konkrétních příležitostí) a výběr probandů byl ovlivněn ochotou ke spolupráci. Proto nelze vyloučit určitá selekční zkreslení.

Bylo zjištěno, že účastníci studie jsou v porovnání s aktuálně platnými normativy nepatrně těžší a menšího vzrůstu. Ačkoliv nebylo nalezeno žádné systematické vysvětlení, zaznamenaná vyšší tělesná hmotnost může být výsledkem působení sekulárního trendu, nižší tělesná výška způsobem výběru probandů, příp. měření částí dětí v odpoledních hodinách a dalším obecně platným, ovšem v této práci nehodnoceným, faktorům ovlivňující tělesný růst (genetickým, endokrinním, environmentálním) (Lebl a Krásničanová, 1996).

Určitým omezením studie je též nezhodnocení stupně pubertálního vývoje probandů, který by mohl významně objasnit zejména problematiku vývoje parametrů svalové funkce v průběhu pubertálního catch-up růstu. Důvodem byla nemožnost klinického posouzení pubertální maturace probandů kvůli poměrně striktním podmínkám realizace studie ve školách (měření probíhala v rámci klasických hodin tělesné výchovy, dotazníky na vlastní sebehodnocení pubertální maturace rovněž nepřípadaly v úvahu). Do budoucna by bylo možné analyzovat vztah mezi věkem menarché účastnic studie a výsledky JM.

7 Závěr

Hodnocení rozvoje muskuloskeletálního systému u dětí a mládeže se zejména po odhalení souvislostí mezi svalovou silou a metabolickými kostními poruchami stalo závažným tématem na poli pediatrického výzkumu. JM je novým přístupem umožňujícím standardizaci hodnocení parametrů dynamické svalové funkce (svalové síly a výkonu). Ačkoliv má mechanografie zejména díky rozmanitým možnostem testů, jejich reliabilitě, reprodukovatelnosti, objektivitě, transferabilitě a časové nenáročnosti přípravné i samotné vyšetřovací fáze poměrně slibný potenciál, pro její účelné používání bylo třeba objasnit souvislosti mezi somatickým profilem jedince a mechanografickými parametry a vytvořit soubor pediatrických referenčních dat pro základní výstupní parametry testů s2LJ a m1LH, nejčastěji užívaných testů mechanografie, zdravých dívek a chlapců.

Vyšetřeno bylo 796 zdravých dívek a chlapců ve věku 6 až 18 let včetně. Výsledky práce ukázaly, že vývoj maximální volní svalové síly (F_{\max}) a maximálního svalového výkonu (P_{\max}) silně závisel na věku, tělesné výšce a tělesné hmotnosti u obou pohlaví. Vícerozměrná regresní analýza ukázala klíčový vliv tělesné výšky na svalový výkon a vliv tělesné hmotnosti na svalovou sílu. Signifikantní mezipohlavní rozdíly v parametru F_{\max} , resp. parametru P_{\max} byly nalezeny od věku 14, resp. 13 let.

Z hlediska interindividuálního srovnávání výsledků mechanografie je vhodnější pracovat s parametry relativními, s parametrem F_{\max}/F_G a parametrem P_{\max}/BM . Parametr F_{\max}/F_G se s věkem, výškou a hmotností neměnil, zatímco parametr P_{\max}/BM s uvedenými proměnnými mírně stoupal, výrazněji u chlapců.

Byla zjištěna přímá závislost mechanografických parametrů na odhadnutém množství tukuprosté hmoty a nepřímá na odhadnutém množství tělesného tuku. Parametry P_{\max} a P_{\max}/BM vykazovaly s odhadnutým množstvím tělesného tuku, s odhadnutým množstvím tukuprosté hmoty, korigovaným obvodem paže a korigovaným obvodem bérce oproti parametrům F_{\max} a F_{\max}/F_G výraznější závislosti. Vliv proporcionality postavy byl na všechny studované parametry zanedbatelný.

Percentilové grafy mechanografických parametrů ve vztahu k věku a tělesné hmotnosti budou sloužit pro srovnávání postavení výsledků mechanografie pediatrického pacienta v rámci referenčního souboru a k dlouhodobému sledování vývoje jeho svalové síly a výkonu v klinické praxi.

Znalost vztahů mezi antropometrickými parametry a kinetickými parametry mechanografie přinese též využití v kombinaci s metodou pQCT v dalších studiích zaměřených na zlepšování diferenciální diagnostiky neuromuskuloskeletálních obtíží u dětí.

Část výsledků práce byla v červnu 2013 přijata do tisku v časopise *The Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions* s impakt faktorem 2,45 (Šumník Z, Matysková J, Hlávka Z, Durdilová L, Souček O, Zemková D. 2013. Reference data for jumping mechanography in healthy children and adolescents aged 6–18 years).

Seznam použité literatury

- Anděl, J. 2002. Základy matematické statistiky. Preprint. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Matematicko-fyzikální fakulta.
- Anliker E, Rawer R, Boutellier U, and Toigo M. 2011. Maximum ground reaction force in relation to tibial bone mass in children and adults. *Med Sci Sports Exerc* 43:2102–2109.
- Anliker E, Dick C, Rawer R, and Toigo M. 2012. Effects of jumping exercise on maximum ground reaction force and bone in 8- to 12-year-old boys and girls: a 9-month randomized controlled trial. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 12(2):56–67.
- Anliker E, and Toigo M. 2012. Functional assessment of the muscle-bone unit in the lower leg. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 12(2):46–55.
- Asmussen E, and Heeboll-Nielsen K. 1955. A dimensional analysis of physical performance and growth in boys. *J Appl Physiol* 7:593–603.
- Baim S, Leonard MB, Bianchi ML, Hans DB, Kalkwarf HJ, Langman CB, and Rauch F. 2008. Official Positions of the International Society for Clinical Densitometry and executive summary of the 2007 ISCD Pediatric Position Development Conference. *J Clin Densitom* 11:6–21.
- Bartoníček J, and Heřt J. 2004. Základy klinické anatomie pohybového aparátu. Praha: Maxdorf.
- Bhasin S, Woodhouse L, Casaburi R, Singh AB, Bhasin D, Berman N, Chen X, Yarasheski KE, Magliano L, Dzekov C, Dzekov J, Bross R, Phillips J, Sinha-Hikim I, Shen R, and Storer TW. 2001. Testosterone dose-response relationships in healthy young men. *Am J Physiol* 281:1172–1181.
- Binkley TL, and Specker BL. 2008. Muscle-bone relationships in the lower leg of healthy pre-pubertal females and males. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 8(3):239–243.
- Bláha P, Krejčovský L, Jiroutová L, Kobzová J, Sedlak P, Brabec M, Riedlová J, and Vignerová J. 2006. Somatický vývoj současných českých dětí: Semilongitudinální studie. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Státní zdravotní ústav Praha.
- Bobbert MF, de Graaf WW, Jonk JN, and Casius LJ. 2006. Explanation of the bilateral deficit in human vertical squat jumping. *J Appl Physiol* 100:493–499.
- Bosco C, Luhtanen P, and Komi PV. 1983. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 50(2):273–282.
- Boye KR, Dimitriou T, Manz F, Schoeanu E, Neu Ch, Wudy S, and Remer T. 2002. Anthropometric assessment of muscularity during growth: estimating fat-free mass with two skinfold-thickness measurements is superior to measuring mid upper arm muscle area in healthy prepubertal. *Am J Clin Nutr* 76(3):628–632.
- Burr DB. 1997. Muscle strength, bone mass, and age-related bone loss. *J Bone Miner Res* 12:1547–1551.
- Busche P, Rawer R, Rakhimi N, Lang I, and Martin DD. 2013. Mechanography in childhood: references for force and power in counter movement jumps and chair rising tests. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 13(2):213–226.

- Carter DR, Bouxsein ML, and Marcus R. 1992. New approaches for interpreting projected bone densitometry data. *J Bone Miner Res* 7(2):137–145.
- Clarke TE, Frederick EC, and Cooper LB. 1983. Effects of shoe cushioning upon ground reaction forces in running. *Int J Sports Med* 4(4):247–251.
- Cointry GR, Capozza RF, Negri AL, Roldán EJ, and Ferretti JL. 2004. Biomechanical background for a noninvasive assessment of bone strength and muscle-bone interactions. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 4:1–11.
- Cole, T. J. 1988. Fitting smoothed centile curves to reference data. *J R Statist Soc A* 151:385–418.
- Cole TJ. 1990. The LMS method for constructing normalized growth standards. *Eur J Clin Nutr* 44:45–60.
- Dionyssiatis Y, Galanos A, Michas G, Trovas G, and Lyrithis GP. 2009. Assessment of musculoskeletal system in women with jumping mechanography. *Int J Womens Health* 1: 113–118.
- Duan N, and Li KC. 1991. Slicing regression: A link-free regression method. *Ann Stat* 19(2):505–530.
- Edouard T, Deal C, Van Vliet G, Gaulin N, Moreau A, Rauch F, and Alos N. 2012. Muscle-bone characteristics in children with Prader-Willi syndrome. *J Clin Endocrinol Metab* 97(2):E275–E281.
- Eser P, Frotzler A, Zehnder Y, Wick L, Knecht H, Denoth J, and Schiessl H. 2004. Relationship between the duration of paralysis and bone structure: a pQCT study of spinal cord injured individuals. *Bone* 34(5):869–880.
- Fetter V, Prokopec M, Suchý J, and Titlbachová S. 1967. *Antropologie*. Praha: Academia.
- Fricke O, Beccard R, Semler O, and Schoenau E. 2010a. Analyses of muscular mass and function: the impact on bone mineral density and peak muscle mass. *Pediatr Nephrol* 25:2393–2400.
- Fricke O, Roedder D, Kribs A, Tuttlewski B, Kleist-Retzow J-Ch, Herkenrath P, Roth B, and Schoenau E. 2010b. Relationship of muscle function to auxology in preterm born children at the age of seven years. *Horm Res Paediatr* 73:390–397.
- Fricke O, and Schoenau E. 2005. Examining the developing skeletal muscle: Why, what and how? *J Musculoskelet Neuronal Interact* 5:225–231.
- Fricke O, Weidler J, Tuttlewski B, and Schoenau E. 2006. Mechanography – a new device for the assessment of muscle function in pediatrics. *Pediatr Res* 59:46–49.
- Frost HM. 1987. Bone “mass” and the “mechanostat”: a proposal. *Anat Rec* 219:1–9.
- Frost HM. 1996. Perspectives: A proposed general model for the mechanostat (suggestions from a new skeletalbiologic paradigm). *Anat Rec* 244:139–147.
- Frost HM. 2001. From Wolff’s law to the Utah paradigm: insights about bone physiology and its clinical applications. *Anat Rec* 262:398–419.
- Frost HM, and Schoenau E. 2000. The “muscle-bone unit” in children and adolescents: a 2000 overview. *J Pediatr Endocrinol Metab* 13:571–590.
- Gafni RI, and Baron J. 2004. Overdiagnosis of osteoporosis in children due to misinterpretation of dual-energy x-ray absorptiometry (DEXA). *J Pediatr* 144:253–257.

- Haapasalo H, Kannus P, Siev n H, Pasanen M, Uusi-Rasi K, Heinonen A, Oja P, and Vuori I. 1998. Effect of long-term unilateral activity on bone mineral density of female junior tennis players. *J Bone Miner Res* 13(2):310–319.
- Hamilton CJ, Swan VJ, and Jamal SA. 2010. The effects of exercise and physical activity participation on bone mass and geometry in postmenopausal women: a systematic review of pQCT studies. *Osteoporos Int* 21:11–23.
- Hasegawa Y, Schneider P, and Reiners C. 2001. Age, sex, and grip strength determine architectural bone parameters assessed by peripheral quantitative computed tomography (pQCT) at the human radius. *J Biomech* 34:497–503.
- Chráska, M. 1998. Základy v zkumu v pedagogice. Olomouc: Univerzita Palack ho.
- Karas V, Ot hal S, and Su anka P. 1990. Biomechanika t lesn ch cvi en . Praha: Státní pedagogick  nakladatelstv .
- Kobzová J, Vignerová J, Bl ha P, Krejcovsk  L, and Riedlová J. 2004. The 6th nationwide anthropological survey of children and adolescents in the Czech Republic in 2001. *Cent Eur J Public Health* 12(3):126–130.
- Lang I, Busche P, Rakhimi N, Rawer R, and Martin DD. 2013. Mechanography in childhood: references for grip force, multiple one-leg hopping force and whole body stiffness. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 13(2):227–235.
- Lebl J, and Kr sn chanov  H. 1996. R st d t  a jeho poruchy. Praha: Gal n.
- Leonard MB, and Bachrach LK. 2012. Non-invasive techniques for bone mass measurement. In: *Pediatric Bone*. USA: Elsevier.
- Lowe DA, Baltgalvis KA, and Greising SM. 2010. Mechanisms behind estrogen's beneficial effect on muscle strength in females. *Exerc Sport Sci Rev* 38:61–67.
- Lundgren SS, Nilsson J , Ringsberg KA, and Karlsson MK. 2011. Normative data for tests of neuromuscular performance and DXA-derived lean body mass and fat mass in pre-pubertal children. *Acta Paediatr* 100:1359–1367.
- Macdonald HM, Kontulainen SA, Khan KM, and McKay HA. 2007. Is a school-based physical activity intervention effective for increasing tibial bone strength in boys and girls? *J Bone Miner Res* 22:434–446.
- Macdonald H, Kontulainen S, Petit M, Janssen P, and McKay H. 2006. Bone strength and its determinants in pre- and early pubertal boys and girls. *Bone* 39:598–608.
- Malina RM, Bouchard C, and Bar-Or O. 2004. Growth, maturation and physical activity. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Martin RB, Buff DB, and Sharkey NA. 1998. *Skeletal Tissue Mechanics*. New York: Springer-Verlag New York.
- Martin RJ, Dore E, Twisk J, van Praagh E, Hautier CA, and Bedu M. 2004. Longitudinal changes of maximal short-term peak power in girls and boys during growth. *Med Sci Sports Exerc* 36:498–503.
- Matiegka J. 1921. The testing of physical efficiency. *Am J Phys Anthropol* 4(3):223–230.
- McLean FC, and Urist MR. 1961. *Bone*, 2nd Ed. Chicago: University of Chicago Press.
- M kota K, and Cuberek R. 2007. Pohybov  dovednosti,  innosti, v kony. Olomouc: Univerzita Palack ho v Olomouci.
- M kota K, and Novosad J. 2005. *Motorick  schopnosti*. Olomouc: Univerzita Palack ho v Olomouci.

- Miyahara K, Wang DH, Mori K, Takahashi K, Miyatake N, Wang BL, Takigawa T, Takaki J, and Ogino K. 2008. Effect of sports activity on bone mineral density in wheelchair athletes. *J Bone Miner Metab* 26:101–106.
- Muller ME, Webber CE, and Bouxsein ML. 2003. Predicting the failure load of the distal radius. *Osteoporos Int* 14:345–352.
- Neu CM, Manz F, Rauch F, Merkel A, and Schoenau E. 2001a. Bone densities and bone size at the distal radius in healthy children and adolescents: a study using peripheral quantitative computed tomography. *Bone* 28(2):227–232.
- Neu CM, Manz F, Rauch F, and Schoenau E. 2001b. Modeling of cross-sectional bone size, mass and geometry at the proximal radius: a study of normal bone development using peripheral quantitative computed tomography. *Osteoporos Int* 9:538–547.
- Neu CM, Rauch F, Rittweger J, Manz F, and Schoenau E. 2002. Influence of puberty on muscle development at the forearm. 2002. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 283(1):E103–E107.
- Olmo J, Jato S, Benito J, Martin I, and Dvir Z. 2009. Identification of feigned ankle plantar and dorsiflexors weakness in normal subjects. *J Electromyogr Kinesiol* 19(5):774–781.
- Parfitt AM. 1994. The two faces of growth: benefits and risks to bone integrity. *Osteoporos Int* 4(6):382–398.
- Parker DF, Round JM, Sacco P, and Jones DA. 1990. A cross-sectional survey of upper and lower limb strength in boys and girls during childhood and adolescence. *Ann Hum Biol* 17:199–211.
- Pařízková J, Lisá L, Bláha P, Fraňková S, Hainerová I, Hlavatá K, Kolář P, Kučera M, Kunešová M, Radvanský J, and Vignerová J. 2007. *Obezita v dětství a dospívání – terapie a prevence*. Praha: Galén.
- Pettersson U, Nordstrom P, and Lorentzon R. 1999. A comparison of bone mineral density and muscle strength in young male adults with different exercise level. *Calcif Tissue Int* 64:490–498.
- Pors NS, Kolthoff N, Bärenholdt O, Kristensen B, Abrahamsen B, Hermann AP, and Brot C. 1998. Diagnosis of osteoporosis by planar bone densitometry: can body size be disregarded? *Br J Radiol* 71(849):934–943.
- Prader A, Largo RH, Molinari L, and Issler C. 1989. Physical growth of Swiss children from birth to twenty years of age. *Helv Pediatr Acta* 52:1–125.
- Rantalainen T, Heinonen A, Komi PV, and Linnamo V. 2008. Neuromuscular performance and bone structural characteristics in young healthy men and women. *Eur J Appl Physiol* 102(2):215–222.
- Rauch F, Neu CM, Wassmer G, Beck B, Rieger-Wettengl G, Rietschel E, Manz F, and Schoenau E. 2002. Muscle analysis by measurement of maximal isometric grip force: new reference data and clinical applications in pediatrics. *Pediatr Res* 51:505–510.
- Rauch F, and Schoenau E. 2001. The developing bone: slave or master of its cells and molecules? *Pediatr Res* 50:309–314.

- Rauch F, and Schoenau E. 2005. Peripheral quantitative computed tomography of the distal radius in young subjects – new reference data and interpretation of results. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 5:119–126.
- Rauch F, and Schoenau E. 2008. Peripheral quantitative computed tomography of the proximal radius in young subjects – new reference data and interpretation of results. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 8:217–226.
- R Core Team. 2012. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing.
- Reilly JJ, Wilson J, and Durnin JVGA. 1995. Determination of body composition from skinfold thickness: a validation study. *Arch Dis Child* 73:305–310.
- Riegerová J, Přidalová M, and Ulbrichová M. 2006. Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu (příručka funkční antropologie). Olomouc: Hanex.
- Rittweger J, Schiessl H, Felsenberg D, and Runge M. 2004. Reproducibility of the jumping mechanography as a test of mechanical power output in physically competent adult and elderly subjects. *J Am Geriatr Soc* 52:128–131.
- Robling AG. 2009. Is bone's response to mechanical signals dominated by muscle forces? *Med Sci Sports Exerc* 41:2044–2049.
- Ruff CB, Holt B, and Trinkaus E. 2006. Who's afraid of the big bad Wolff?: "Wolff's Law" and bone functional adaptation. *Am J Phys Anthropol* 129:484–498.
- Runge M, Rittweger J, Russo CR, Schiessl H, and Felsenberg D. 2004. Is muscle power output a key factor in the age-related decline in physical performance? A comparison of muscle cross section, chair-rising test and jumping power. *Clin Physiol Funct Imaging* 24(6):335–340.
- Runge M, and Schacht E. 2005. Multifactorial pathogenesis of falls as a basis for multifactorial interventions. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 5(2):127–134.
- Schiessl H, Ferretti JL, Tysarczyk-Niemeyer G, and Willnecker J. 1996 Noninvasive bone strength index as analyzed by peripheral quantitative computed tomography (pQCT). In: Schoenau E, ed. *Paediatric osteology: new developments in diagnostics and therapy*. Int Congr Ser 1105. Amsterdam: Elsevier.
- Schiessl H, Frost HM, and Jee WS. 1998. Estrogen and bone-muscle strength and mass relationships. *Bone* 22:1–6.
- Schoenau E. 1998. The development of the skeletal system in children and the influence of muscular strength. *Horm Res* 49:27–31.
- Schoenau E. 2004. The peak bone mass concept: is it still relevant? *Pediatr Nephrol* 19:828–831.
- Schoenau E. 2005. The functional muscle-bone-unit: a two-step diagnostic algorithm in pediatric bone disease. *Pediatr Nephrol* 20:356–359.
- Schoenau E, Neu CM, Beck B, Manz F, and Rauch F. 2002. Bone mineral content per muscle cross-sectional area as an index of the functional muscle-bone unit. *J Bone Miner Res* 17:1095–1101.
- Schoenau E, Neu C M, Mokov E, Wassmer G, and Manz F. 2000. Influence of puberty on muscle area and cortical bone area of the forearm in boys and girls. *J Clin Endocrinol Metab* 85:1095–1098.

- Schoenau E, Neu CM, Rauch F, and Manz F. 2001. The development of bone strength at the proximal radius during childhood and adolescence. *J Clin Endocrinol Metab* 86:613–618.
- Schoenau E, Werhahn E, Schiedermaier U, Mokow E, Schiessl H, Scheidhauer K, and Michalk D. 1996. Influence of muscle strength on bone strength during childhood and adolescence. *Horm Res* 45 Suppl.1:63–66.
- Sinaki M, Limburg PJ, Wollan PC, Rogers JW, and Murtaugh PA. 1996. Correlation of trunk muscle strength with age in children 5 to 18 years old. *Mayo Clin Proc* 71(11):1047–1054.
- Slaughter MH, Lohman TG, Boileau RA, Horswill CA, Stillman RJ, Van Loan MD, and Bembien DA. 1988. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum Biol* 60(5):709–723.
- Souček O, Šumník Z, and Lebl J. 2009. Kostní denzita a parametry pevnosti kosti: vztah k riziku fraktur u dětí. *DMEV* 12:85–92.
- Šumník Z, Land C, Coburger S, Neu C, Manz F, Hrach K, and Schoenau E. 2006. The muscle-bone unit in adulthood: influence of sex, height, age and gynecological history on the bone mineral content and muscle cross-sectional area. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 6:195–200.
- Tikkanen O, Haakana P, Pesola AJ, Häkkinen K, Rantalainen T, Havu M, Pullinen T, and Finni T. 2013. Muscle Activity and Inactivity Periods during Normal Daily Life. *PLoS One* 8:e52228.doi:10.1371/journal.pone.0052228.
- Veilleux LN, and Rauch F. 2010. Reproducibility of jumping mechanography in healthy children and adults. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 10(4):256–266.
- Veilleux LN, Rauch F, Lemay M, and Ballaz L. 2012. Agreement between vertical ground reaction force and ground reaction force vector in five common clinical tests. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 12(4):219–223.
- Vignerová J, Riedlová J, Bláha P, Kobzová J, Krejčovský L, Brabec M, and Hrušková M. 2006. 6. Celostátní antropologický výzkum dětí a mládeže 2001: Česká republika. 1. Vydání. Praha: Přírodovědecká fakulta UK v Praze a Státní zdravotní ústav.
- Vignerová J, Riedlová J, Bláha P and Paulová M. 2005. RůstCZ: Program pro hodnocení růstu dítěte. Vývoj programu fa Matha, s.r.o. Praha: Státní zdravotní ústav.
- Ward KA, Das G, Berry JL, Roberts SA, Rawer R, Adams J, and Mughal Z. 2009. Vitamin D Status and Muscle Function in Post-Menarchal Adolescent Girls. *J Clin Endocrinol Metab* 94(2):559–563.
- Ward KA, Das G, Roberts SA, Berry JL, Adams JE, Rawer R, and Mughal MZ. 2010. A randomized, controlled trial of vitamin D supplementation upon musculoskeletal health in postmenarchal females. *J Clin Endocrinol Metab* 95(10):4643–4651.
- Wild CY, Steele JR, and Munro BJ. 2013. Musculoskeletal and estrogen changes during the adolescent growth spurt in girls. *Med Sci Sports Exerc* 45:138–145.
- Wolff J. 1892. *Das Gesetz der Transformation der Knochen*. Berlin, Germany: Verlag von August Hirschwald.
- World Health Organization. 1994. Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis (Report of a WHO Study Group). 843. Geneva.

- Wren TA, and Gilsanz V. 2006. Assessing bone mass in children and adolescents. *Curr Osteoporos Rep* 4:153–158.
- Zanchetta JR, Plotkin H, and Alvarez-Figueira, ML. 1995. Bone mass in children: Normative values for the 2–20-year-old population. *Bone* 16:393–399.
- Zemel BS, Stallings VA, Leonard MB, Paulhamus DR, Kecskemethy HH, Harcke HT, and Henderson RC. 2009. Revised pediatric reference data for the lateral distal femur measured by Hologic Discovery/Delphi dual-energy X-ray absorptiometry. *J Clin Densitom* 12:207–218.

Internetové zdroje:

Galileo Training, Products

<http://www.galileo-training.com/de-english/products/p6/leonardo-mechanograph-grfp.html>, citováno 1. 6. 2013

Seznam zkratek

aBMD	areal bone mineral density (plošná kostní denzita)
BM	body mass (tělesná hmotnost)
BMC	bone mineral content (obsah kostního minerálu)
BMI	body mass index (index tělesné hmotnosti)
CAV	Celostátní antropologický výzkum
CoM	center of mass (těžiště těla)
CT	computed tomography (počítačová tomografie)
d.	délka
DK	dolní končetina
DXA	dual-energy X-ray absorptiometry (duální rentgenová absorpciometrie)
F_{\max}	maximální volní svalová síla získaná testem m1LH
F_{\max}/F_G	maximální volní svalová síla získaná testem m1LH vztažená k tíhové síle člověka
FFM	fat-free mass (tukuprostá hmota)
FM	fat mass (tělesný tuk)
FMBU	functional muscle-bone unit (funkční svalově-kostní jednotka)
FN	fakultní nemocnice
GRF(s)	ground reaction force(s) (reakční síla (síly) podložky)
GRFP	ground reaction force platform (silová plošina)
ISCD	International Society of Clinical Denzitometry (Mezinárodní společnost klinické denzitometrie)
JM	jumping mechanography (mechanografie)
kap.	kapitola
korig.	korigovaný
KŘ	kožní řasa
MA	cross-sectional muscle area (plocha příčného průřezu svalu)
max.	maximální
MIGF	maximal isometric grip force (maximální izometrická síla stisku ruky)
m1LH	multiple one-legged hopping (kontinuální poskakování na jedné noze s maximálně extendovaným kolenním kloubem)
o.	obvod
P_{\max}	maximální svalový výkon získaný testem s2LJ
P_{\max}/BM	maximální svalový výkon získaný testem s2LJ vztažený k tělesné hmotnosti člověka

pQCT	peripheral quantitative computed tomography (periferní kvantitativní CT denzitometrie)
QCT	quantitative computed tomography (kvantitativní CT denzitometrie)
SD	standard deviation (směrodatná odchylka)
SDS	standard deviation score (skóre směrodatné odchylky)
SIR	sliced inverse regression
SSI	strength strain index (index pevnosti kosti)
subisch.	subischialní
s2LJ	single two-legged jump (vertikální výskok snožmo, výskok s protipohybem)
USB	Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)
vBMD	volume bone mineral density (volumetrická kostní denzita)
VV	výška vsedě
WHO	World Health Organization (Světová zdravotnická organizace)
ZŠ	základní škola

Seznam fyzikálních veličin.

fyzikální veličina	označení	jednotka
čas	t	s
délka (výška)	h	m
dráha	s	m
energie kinetická	E_k	J
energie potenciální	E_p	J
hmotnost	m	kg
rychlost	v	m/s
síla	F	N
tíhová síla	F_G	N
tíhové zrychlení	g	m/s ²
výkon	P	W

Přílohy: Tabulky

Tab. 1: Základní antropometrické charakteristiky souboru dívek a chlapců.

Tab. 2: Charakteristika souboru z hlediska parametru P_{\max} a parametru P_{\max}/BM ve vztahu k věku.

Tab. 3: Charakteristika souboru z hlediska parametru P_{\max} a parametru P_{\max}/BM ve vztahu k tělesné výšce.

Tab. 4: Charakteristika souboru z hlediska parametru P_{\max} a parametru P_{\max}/BM ve vztahu k tělesné hmotnosti.

Tab. 5: Charakteristika souboru z hlediska parametru F_{\max} a parametru F_{\max}/F_G ve vztahu k věku.

Tab. 6: Charakteristika souboru z hlediska parametru F_{\max} a parametru F_{\max}/F_G ve vztahu k tělesné výšce.

Tab. 7: Charakteristika souboru z hlediska parametru F_{\max} a parametru F_{\max}/F_G ve vztahu k tělesné hmotnosti.

Tab. 8: Charakteristika souboru dívek z hlediska antropometrických znaků ve vztahu k věku.

Tab. 9: Charakteristika souboru chlapců z hlediska antropometrických znaků ve vztahu k věku.

Tab. 10: Rozložení referenčních dat pro parametr P_{\max} ve vztahu k věku podle percentilů a parametrů S a M.

Tab. 11: Rozložení referenčních dat pro parametr P_{\max}/BM ve vztahu k věku podle percentilů a parametrů S a M.

Tab. 12: Rozložení referenčních dat pro parametr F_{\max} ve vztahu k věku podle percentilů a parametrů S a M.

Tab. 13: Rozložení referenčních dat pro parametr F_{\max}/F_G ve vztahu k věku podle percentilů a parametrů S a M.

Tab. 14: Rozložení referenčních dat pro parametr P_{\max} ve vztahu k tělesné hmotnosti podle percentilů a parametrů S a M.

Tab. 15: Rozložení referenčních dat pro parametr P_{\max}/BM ve vztahu k tělesné hmotnosti podle percentilů a parametrů S a M.

Tab. 16: Rozložení referenčních dat pro parametr F_{\max} ve vztahu k tělesné hmotnosti podle percentilů a parametrů S a M.

Tab. 17: Rozložení referenčních dat pro parametr F_{\max}/F_G ve vztahu k tělesné hmotnosti podle percentilů a parametrů S a M.

Tab. 1: Základní antropometrické charakteristiky souboru dívek a chlapců.

	celkem (796) průměr ± SD	dívky (432) průměr ± SD	chlapci (364) průměr ± SD
věk (roky)	11,8 ± 3,5	12,0 ± 3,7	11,6 ± 3,2
tělesná výška (cm)	149,0 ± 18,0	147,69 ± 17,23	150,62 ± 18,88
tělesná výška (SDS)	-0,24 ± 0,97***	-0,32 ± 1,01***	-0,14 ± 0,91**
tělesná hmotnost (kg)	43,2 ± 15,5	42,69 ± 14,8	43,87 ± 16,3
tělesná hmotnost (SDS)	0,13 ± 1,03***	0,07 ± 1,06	0,2 ± 0,99***
BMI (kg/cm ²)	18,9 ± 3,2	18,99 ± 3,25	18,79 ± 3,17
BMI (SDS)	0,25 ± 1,04***	0,25 ± 1,03***	0,25 ± 1,06***

Hodnoty SDS byly získány na základě aktuálně platných českých referenčních dat (Kobzová et al., 2004). Hvězdičky indikují rozdíly mezi studovanou a referenční populací (* p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001).

Tab. 2: Charakteristika souboru z hlediska parametru P_{\max} a parametru P_{\max}/BM ve vztahu k věku.

věk (roky)	P_{\max} [W]		P_{\max}/BM [W/kg]	
	dívky (432) průměr ± SD	chlapci (364) průměr ± SD	dívky průměr ± SD	chlapci průměr ± SD
6	787 ± 190 (33)	801 ± 144 (19)	33,3 ± 4,5	32,6 ± 4,1
7	930 ± 210 (43)	939 ± 189 (38)	36,3 ± 5,0	36,0 ± 5,8
8	1117 ± 180 (33)	1117 ± 200 (38)	36,4 ± 4,6	36,5 ± 5,3
9	1224 ± 205 (42)	1270 ± 292 (29)	37,1 ± 5,5	37,4 ± 4,5
10	1434 ± 353 (42)	1456 ± 294 (45)	40,8 ± 6,9	38,1 ± 6,3
11	1806 ± 399 (30)	1739 ± 378 (37)	41,6 ± 5,3	42,1 ± 6,9
12	1852 ± 327 (41)	1895 ± 379 (40)	41,7 ± 4,5	41,8 ± 6,0
13	2173 ± 409 (32)	2485 ± 700 (36)*	42,3 ± 5,5	47,7 ± 7,0***
14	2379 ± 443 (31)	2964 ± 505 (20)***	42,0 ± 6,8	51,0 ± 5,5***
15	2442 ± 379 (29)	3334 ± 504 (26)***	45,1 ± 5,7	52,1 ± 6,6***
16	2701 ± 280 (17)	3950 ± 708 (9)***	43,7 ± 5,6	59,2 ± 10,0**
17	2520 ± 418 (25)	3692 ± 535 (13)***	43,6 ± 6,9	52,3 ± 5,8***
18	2557 ± 424 (34)	4055 ± 707 (14)***	44,5 ± 6,2	57,1 ± 5,3***

V závorkách je uvedeno početní zastoupení vyšetřených probandů, pro P_{\max} a P_{\max}/BM je stejné. Hvězdičky indikují rozdíly mezi dívkami a chlapci (*p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001).

Tab. 3: Charakteristika souboru z hlediska parametru P_{\max} a parametru P_{\max}/BM ve vztahu k tělesné výšce.

TV (cm)	P_{\max} [W]		P_{\max}/BM [W/kg]	
	dívky (432) průměr ± SD	chlapci (364) průměr ± SD	dívky průměr ± SD	chlapci průměr ± SD
110	724 ± 132 (26)	772 ± 197 (8)	33,7 ± 4,2	35,3 ± 6,9
120	925 ± 155 (60)	918 ± 164 (53)	35,5 ± 4,9	35,4 ± 5,2
130	1219 ± 182 (73)	1218 ± 239 (71)	38,1 ± 5,2	38,0 ± 5,9
140	1568 ± 281 (67)	1537 ± 283 (62)	40,7 ± 5,9	39,7 ± 6,3
150	2065 ± 361 (71)	1947 ± 430 (58)	42,9 ± 6,4	42,3 ± 7,5
160	2454 ± 391 (100)	2554 ± 639 (39)	43,6 ± 6,5	47,8 ± 9,6*
170	2630 ± 337 (32)	3508 ± 630 (46)***	41,5 ± 4,5	53,2 ± 6,5***
180	3172 ± 441 (3)	3697 ± 494 (25)	50,0 ± 4,1	52,9 ± 6,0
190		4958 ± 539 (2)		62,9 ± 12,0

V závorkách je uvedeno početní zastoupení vyšetřených probandů, pro P_{\max} a P_{\max}/BM je stejné.
 Statistická významnost rozdílu mezi dívkami a chlapci je charakterizována p-hodnotou (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

Tab. 4: Charakteristika souboru z hlediska parametru P_{\max} a parametru P_{\max}/BM ve vztahu k tělesné hmotnosti.

TH (kg)	P_{\max} [W]		P_{\max}/BM [W/kg]	
	dívky (432) průměr ± SD	chlapci (364) průměr ± SD	dívky průměr ± SD	chlapci průměr ± SD
10	612 ± 88 (10)	650 (1)	32,1 ± 4,0	33,7
20	943 ± 181 (100)	945 ± 186 (86)	36,8 ± 4,9	36,6 ± 5,3
30	1402 ± 244 (97)	1408 ± 271 (94)	40,1 ± 6,5	39,8 ± 6,9
40	1899 ± 363 (76)	1903 ± 441 (72)	42,1 ± 7,0	41,8 ± 8,2
50	2391 ± 374 (88)	2655 ± 580 (44) **	43,9 ± 6,4	48,3 ± 9,9**
60	2633 ± 346 (45)	3303 ± 540 (37) ***	41,2 ± 5,0	51,3 ± 8,4***
70	2769 ± 402 (14)	3938 ± 614 (21) ***	37,6 ± 5,7	52,6 ± 8,4***
80	3220 (1)	4317 ± 746 (7)	37,6	51,3 ± 9,0
90	3054 (1)	4094 ± 503 (2)	33,7	43,0 ± 5,1

V závorkách je uvedeno početní zastoupení vyšetřených probandů, pro P_{\max} a P_{\max}/BM je stejné.
 Statistická významnost rozdílu mezi dívkami a chlapci je charakterizována p-hodnotou (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

Tab. 5: Charakteristika souboru z hlediska parametru F_{\max} a parametru F_{\max}/F_G ve vztahu k věku.

věk (roky)	F_{\max} [N]		F_{\max}/F_G	
	dívky (194) průměr ± SD	chlapci (182) průměr ± SD	dívky průměr ± SD	chlapci průměr ± SD
6	718 ± 117 (7)	645 ± 71 (5)	3,05 ± 0,27	2,86 ± 0,25
7	766 ± 147 (10)	733 ± 165 (17)	3,14 ± 0,36	2,86 ± 0,32
8	904 ± 170 (12)	833 ± 135 (13)	3,09 ± 0,2	2,99 ± 0,32
9	946 ± 173 (16)	951 ± 292 (5)	2,98 ± 0,38	2,84 ± 0,21
10	965 ± 243 (13)	1054 ± 148 (12)	3,05 ± 0,45	3,07 ± 0,38
11	1267 ± 226 (19)	1264 ± 309 (14)	3,1 ± 0,28	3,02 ± 0,45
12	1364 ± 268 (24)	1395 ± 263 (27)	3,23 ± 0,26	3,04 ± 0,33*
13	1562 ± 408 (15)	1516 ± 288 (25)	3,05 ± 0,35	3,0 ± 0,36
14	1610 ± 200 (11)	1855 ± 285 (16)*	2,99 ± 0,24	3,23 ± 0,38
15	1685 ± 264 (18)	2122 ± 361 (18)***	3,17 ± 0,21	3,31 ± 0,38
16	1812 ± 165 (13)	2045 ± 259 (6)	2,93 ± 0,31	3,08 ± 0,45
17	1796 ± 207 (18)	2192 ± 396 (11)**	3,16 ± 0,23	3,16 ± 0,3
18	1775 ± 235 (18)	2430 ± 303 (13)***	3,16 ± 0,27	3,52 ± 0,24***

V závorkách je uvedeno početní zastoupení vyšetřených probandů, pro F_{\max} a F_{\max}/F_G je stejné. Hvězdičky indikují rozdíly mezi dívkami a chlapci (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

Tab. 6: Charakteristika souboru z hlediska parametru F_{\max} a parametru F_{\max}/F_G ve vztahu k tělesné výšce.

TV (cm)	F_{\max} [N]		F_{\max}/F_G	
	dívky (194) průměr ± SD	chlapci (182) průměr ± SD	dívky průměr ± SD	chlapci průměr ± SD
110	642 ± 46 (4)	575 ± 20 (3)	3,19 ± 0,38	2,76 ± 0,01
120	766 ± 90 (18)	728 ± 135 (19)	3,06 ± 0,2	2,89 ± 0,29
130	945 ± 177 (28)	846 ± 129 (18)*	3,08 ± 0,42	3,0 ± 0,37
140	1152 ± 176 (29)	1145 ± 207 (22)	3,11 ± 0,33	3,06 ± 0,4
150	1477 ± 269 (38)	1339 ± 238 (32)*	3,15 ± 0,23	2,97 ± 0,37*
160	1710 ± 252 (56)	1635 ± 297 (28)	3,11 ± 0,29	3,14 ± 0,42
170	1862 ± 170 (21)	2107 ± 367 (37)**	3,02 ± 0,25	3,29 ± 0,34***
180		2189 ± 358 (21)		3,14 ± 0,35
190		2513 ± 159 (2)		3,22 ± 0,06

Uvedeny jsou průměry a SD. Počet jedinců prezentovaný v závorkách je pro F_{\max} a F_{\max}/F_G stejný. Hvězdičky indikují rozdíly mezi dívkami a chlapci (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

Tab. 7: Charakteristika souboru z hlediska parametru F_{\max} a parametru F_{\max}/F_G ve vztahu k tělesné hmotnosti.

TH (kg)	F_{\max} [N]		F_{\max}/F_G	
	dívky (194) průměr ± SD	chlapci (182) průměr ± SD	dívky průměr ± SD	chlapci průměr ± SD
10	618 ± 104 (2)	565 (1)	3,29 ± 0,64	2,75
20	796 ± 125 (34)	729 ± 120 (32)*	3,09 ± 0,3	2,92 ± 0,3*
30	1072 ± 149 (41)	1065 ± 145 (32)	3,09 ± 0,35	3,06 ± 0,36
40	1380 ± 129 (34)	1374 ± 180 (35)	3,12 ± 0,24	3,04 ± 0,38
50	1688 ± 178 (50)	1744 ± 258 (30)	3,15 ± 0,27	3,23 ± 0,44
60	1896 ± 197 (27)	2023 ± 281 (29)	3,01 ± 0,31	3,2 ± 0,38*
70	2096 ± 194 (6)	2329 ± 264 (15) *	2,98 ± 0,31	3,16 ± 0,36
80		2645 ± 198 (6)		3,23 ± 0,24
90		2587 ± 425 (2)		2,77 ± 0,44

Uvedeny jsou průměry a SD. Počet jedinců prezentovaný v závorkách je pro F_{\max} a F_{\max}/F_G stejný.
 Statistická významnost rozdílu mezi dívkami a chlapci je charakterizována p-hodnotou (*p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001).

Tab. 8: Charakteristika souboru dívek z hlediska antropometrických znaků ve vztahu k věku.

věk (roky)	tělesná výška [cm]	tělesná hmotnost [kg]	odhad množství tělesného tuku [%]	odhad množství tukuprosté hmoty [kg]	korigovaný obvod paže [mm]	korigovaný obvod bérce [mm]	výška vsedě/ subisch. délka dolních končetin průměr ± SD (N)
	průměr ± SD (N)	průměr ± SD (N)	průměr ± SD (N)	průměr ± SD (N)	průměr ± SD (N)	průměr ± SD (N)	průměr ± SD (N)
6	119,8 ± 5,4 (33)	23,5 ± 4,1 (33)	15,1 ± 6,1 (22)	19,7 ± 2,7 (22)	156,8 ± 14,6 (24)	221,1 ± 19,9 (21)	117,3 ± 6,1 (23)
7	124,9 ± 7,3 (43)	25,6 ± 5,0 (43)	15,2 ± 4,2 (35)	21,8 ± 3,7 (35)	164,1 ± 18,4 (38)	229,2 ± 16,6 (35)	113,1 ± 5,5 (37)
8	131,4 ± 4,9 (33)	31,0 ± 5,1 (33)	18,7 ± 6,2 (30)	24,8 ± 2,9 (30)	175,1 ± 18,6 (31)	242,9 ± 17,5 (30)	114,4 ± 6,1 (31)
9	137,1 ± 5,1 (42)	33,4 ± 6,1 (42)	19,6 ± 7,6 (39)	26,7 ± 2,9 (39)	176,9 ± 15,1 (40)	246,8 ± 16,1 (40)	110,6 ± 5,3 (40)
10	140,6 ± 6,9 (42)	35,2 ± 6,6 (42)	18,1 ± 5,6 (41)	28,6 ± 4,1 (41)	179,5 ± 15,7 (41)	255,7 ± 19,4 (39)	109,9 ± 7,1 (41)
11	149,9 ± 7,5 (30)	43,9 ± 10,4 (30)	20,1 ± 7,4 (29)	34,0 ± 5,2 (29)	195,2 ± 22,3 (30)	265,7 ± 23,4 (29)	108,3 ± 5,7 (30)
12	153,5 ± 8,7 (41)	44,8 ± 8,8 (41)	19,7 ± 5,2 (39)	35,9 ± 5,6 (39)	190,7 ± 18,4 (39)	271,5 ± 27,3 (37)	108,2 ± 5,2 (39)
13	159,4 ± 7,4 (32)	51,9 ± 9,9 (32)	21,6 ± 6,1 (22)	39,5 ± 5,0 (22)	200,1 ± 19,8 (22)	282,9 ± 18,5 (21)	109,9 ± 5,7 (22)
14	163,4 ± 6,4 (31)	57,4 ± 11,3 (31)	22,1 ± 4,2 (17)	43,7 ± 5,4 (17)	205,7 ± 16,2 (17)	289,1 ± 30,9 (17)	106,1 ± 5,8 (17)
15	161,6 ± 5,3 (29)	54,4 ± 7,6 (29)	21,5 ± 3,9 (27)	42,9 ± 4,5 (27)	205,1 ± 17,5 (27)	296,5 ± 19,5 (27)	109,3 ± 4,9 (27)
16	168,8 ± 6,1 (17)	62,3 ± 6,4 (17)	22,9 ± 3,9 (15)	48,3 ± 4,0 (15)	222,0 ± 19,1 (15)	313,4 ± 13,5 (15)	108,9 ± 4,6 (15)
17	165,9 ± 4,8 (25)	58,6 ± 10,6 (25)	22,5 ± 3,6 (19)	44,3 ± 4,0 (19)	206,4 ± 15,6 (19)	309,2 ± 18,6 (19)	111,6 ± 6,1 (17)
18	167,4 ± 7,5 (34)	57,6 ± 6,7 (34)	21,9 ± 3,6 (26)	45,3 ± 4,2 (26)	208,2 ± 12,9 (27)	308,3 ± 17,3 (27)	111,2 ± 5,6 (27)

Uvedeny jsou průměrné hodnoty a směrodatné odchylky antropometrických znaků souboru a počet změřených dívek.

Tab. 9: Charakteristika souboru chlapců z hlediska antropometrických znaků ve vztahu k věku.

věk (roky)	tělesná výška [cm] průměr ± SD (N)	tělesná hmotnost [kg] průměr ± SD (N)	odhad množství tělesného tuku [%] průměr ± SD (N)	odhad množství tukuprosté hmoty [kg] průměr ± SD (N)	korigovaný obvod paže [mm] průměr ± SD (N)	korigovaný obvod bérce [mm] průměr ± SD (N)	výška vsedě/ subisch. délka dolních končetin průměr ± SD (N)
6	122,5 ± 3,6 (19)	24,6 ± 4,0 (19)	13,1 ± 5,3 (11)	21,1 ± 1,8 (11)	155,6 ± 11,8 (12)	226,4 ± 14,8 (10)	117,5 ± 7,1 (10)
7	126,4 ± 5,4 (38)	26,2 ± 4,0 (38)	13,3 ± 3,8 (32)	22,6 ± 2,7 (32)	162,2 ± 12,3 (33)	227,8 ± 14,3 (31)	115,2 ± 6,1 (34)
8	132,8 ± 5,3 (38)	30,9 ± 5,6 (38)	16,9 ± 8,0 (35)	25,2 ± 3,0 (35)	175,4 ± 16,9 (37)	241,3 ± 15,6 (36)	114,4 ± 5,2 (37)
9	138,5 ± 6,0 (29)	34,0 ± 6,7 (29)	16,8 ± 7,5 (23)	27,4 ± 3,9 (23)	177,3 ± 20,4 (23)	242,4 ± 19,2 (23)	109,4 ± 4,9 (23)
10	144,0 ± 6,1 (45)	38,7 ± 8,3 (45)	19,4 ± 8,5 (40)	30,9 ± 3,8 (40)	189,4 ± 20,9 (40)	255,9 ± 31,2 (40)	107,2 ± 6,1 (40)
11	149,1 ± 8,0 (37)	41,8 ± 8,8 (37)	17,4 ± 6,5 (35)	34,3 ± 5,5 (35)	194,5 ± 19,3 (35)	262,5 ± 28,7 (34)	105,5 ± 5,3 (35)
12	154,9 ± 6,5 (40)	45,7 ± 9,2 (40)	16,6 ± 8,9 (33)	37,2 ± 4,7 (33)	196,3 ± 21,9 (33)	271,5 ± 20,7 (31)	105,3 ± 6,1 (33)
13	162,3 ± 10,2 (36)	51,6 ± 10,6 (36)	14,7 ± 5,7 (25)	43,3 ± 8,3 (25)	210,1 ± 24,6 (25)	289,8 ± 25,0 (25)	103,7 ± 6,4 (25)
14	170,3 ± 7,7 (20)	58,4 ± 10,1 (20)	13,0 ± 6,2 (12)	49,5 ± 5,7 (12)	221,3 ± 19,7 (13)	302,4 ± 26,2 (12)	102,1 ± 3,4 (12)
15	174,1 ± 6,4 (26)	64,5 ± 10,1 (26)	11,0 ± 3,8 (19)	55,7 ± 7,5 (19)	234,3 ± 24,7 (20)	316,4 ± 26,4 (19)	106,7 ± 7,9 (19)
16	179,9 ± 9,5 (9)	67,6 ± 12,4 (9)	13,0 ± 3,6 (7)	58,2 ± 9,3 (7)	237,3 ± 36,6 (7)	341,1 ± 28,2 (7)	109,6 ± 2,7 (7)
17	182,4 ± 4,3 (13)	71,0 ± 10,7 (13)	13,8 ± 4,2 (7)	64,6 ± 8,0 (7)	249,0 ± 34,7 (7)	341,1 ± 18,7 (7)	102,4 ± 3,7 (7)
18	179,0 ± 5,6 (14)	71,0 ± 9,5 (14)	13,3 ± 4,2 (13)	61,1 ± 7,5 (13)	253,4 ± 25,9 (13)	335,9 ± 22,3 (13)	105,7 ± 5,7 (13)

Uvedeny jsou průměrné hodnoty a směrodatné odchylky antropometrických znaků souboru a počet změřených chlapců.

Tab. 10: Rozložení referenčních dat pro parametr P_{\max} ve vztahu k věku podle percentilů a parametrů S a M. Parametr L = 0.

P_{\max} [W]												
věk (roky)	dívky						chlapci					
	S	P3	P10	M, P50	P90	P97	S	P3	P10	M, P50	P90	P97
6	0,20	516	579	740	946	1061	0,20	521	586	753	968	1088
7	0,19	585	656	838	1070	1200	0,20	589	662	851	1093	1229
8	0,19	684	767	978	1248	1398	0,20	687	772	993	1276	1435
9	0,19	795	891	1135	1446	1620	0,20	799	899	1155	1486	1671
10	0,19	919	1029	1310	1667	1867	0,20	929	1045	1344	1729	1944
11	0,19	1057	1183	1504	1911	2138	0,20	1077	1212	1559	2005	2256
12	0,19	1206	1349	1712	2174	2431	0,20	1248	1404	1806	2323	2613
13	0,19	1358	1517	1924	2440	2726	0,20	1449	1630	2097	2697	3034
14	0,18	1503	1678	2125	2691	3006	0,20	1698	1910	2457	3160	3555
15	0,18	1627	1816	2297	2905	3242	0,20	1995	2244	2885	3711	4174
16	0,18	1719	1918	2422	3059	3412	0,20	2282	2566	3299	4242	4771
17	0,18	1774	1978	2495	3146	3507	0,20	2515	2828	3635	4672	5254
18	0,18	1797	2002	2522	3176	3538	0,20	2652	2982	3830	4921	5533

Tab. 11: Rozložení referenčních dat pro parametr P_{\max}/BM ve vztahu k věku podle percentilů a parametrů S a M. Parametr L = 0.

věk (roky)	P_{\max}/BM [W/kg]											
	S	P3	dívky				S	P3	chlapci			
			P10	M, P50	P90	P97			P10	M, P50	P90	P97
6	0,14	26,2	28,4	34,0	40,6	44,2	0,15	23,9	26,2	31,7	38,4	42,0
7	0,14	27,0	29,4	35,1	42,0	45,6	0,15	25,2	27,6	33,4	40,4	44,2
8	0,14	27,8	30,3	36,2	43,2	47,0	0,15	26,5	28,9	35,0	42,4	46,4
9	0,14	28,6	31,1	37,2	44,4	48,3	0,15	27,7	30,3	36,7	44,4	48,6
10	0,14	29,4	31,9	38,2	45,6	49,5	0,15	29,0	31,7	38,4	46,4	50,8
11	0,14	30,2	32,8	39,1	46,7	50,8	0,15	30,3	33,2	40,1	48,5	53,1
12	0,14	30,9	33,5	40,1	47,8	52,0	0,15	31,8	34,7	42,0	50,8	55,6
13	0,14	31,6	34,3	40,9	48,8	53,1	0,15	33,4	36,5	44,1	53,3	58,3
14	0,14	32,2	34,9	41,7	49,8	54,0	0,15	35,1	38,4	46,4	56,1	61,2
15	0,14	32,7	35,5	42,3	50,5	54,9	0,15	37,0	40,4	48,8	58,9	64,3
16	0,14	33,1	35,9	42,9	51,1	55,5	0,15	38,8	42,3	51,1	61,7	67,3
17	0,14	33,4	36,3	43,2	51,6	56,0	0,15	40,3	44,0	53,0	63,9	69,8
18	0,14	33,6	36,4	43,5	51,8	56,3	0,15	41,3	45,0	54,2	65,4	71,3

Tab. 12: Rozložení referenčních dat pro parametr F_{\max} ve vztahu k věku podle percentilů a parametrů S a M. Parametr L = 0.

věk (roky)	F_{\max} [N]											
	S	P3	dívky				S	P3	chlapci			
			P10	M, P50	P90	P97			P10	M, P50	P90	P97
6	0,19	460	514	654	830	929	0,18	420	467	587	738	821
7	0,19	516	577	732	929	1038	0,18	483	538	676	850	945
8	0,18	576	644	815	1033	1154	0,18	549	611	768	965	1074
9	0,18	641	716	905	1145	1278	0,18	621	691	868	1092	1215
10	0,18	714	796	1005	1269	1415	0,18	710	790	993	1248	1389
11	0,18	794	885	1115	1406	1567	0,18	817	909	1142	1435	1597
12	0,18	881	980	1233	1551	1727	0,18	925	1029	1293	1625	1808
13	0,18	970	1079	1354	1699	1890	0,18	1032	1148	1442	1811	2014
14	0,18	1061	1179	1476	1849	2054	0,18	1148	1277	1603	2013	2239
15	0,17	1147	1272	1590	1986	2204	0,18	1282	1425	1788	2244	2496
16	0,17	1214	1346	1677	2091	2318	0,18	1417	1575	1975	2478	2755
17	0,17	1259	1394	1733	2155	2386	0,18	1531	1702	2133	2674	2972
18	0,17	1284	1420	1761	2184	2416	0,18	1609	1788	2240	2807	3118

Tab. 13: Rozložení referenčních dat pro parametr F_{\max}/F_G ve vztahu k věku podle percentilů a parametrů S a M. Parametr L = 0.

F_{\max}/F_G												
věk (roky)	dívky						chlapci					
	S	P3	P10	M, P50	P90	P97	S	P3	P10	M, P50	P90	P97
6	0,11	2,50	2,66	3,05	3,49	3,71	0,11	2,26	2,42	2,80	3,23	3,46
7	0,10	2,51	2,67	3,06	3,49	3,72	0,11	2,29	2,45	2,84	3,29	3,52
8	0,10	2,52	2,68	3,06	3,50	3,72	0,11	2,33	2,49	2,88	3,33	3,57
9	0,10	2,53	2,69	3,07	3,50	3,73	0,11	2,36	2,52	2,92	3,38	3,62
10	0,10	2,53	2,69	3,07	3,51	3,73	0,11	2,39	2,56	2,96	3,43	3,67
11	0,10	2,54	2,70	3,08	3,51	3,73	0,11	2,42	2,59	3,00	3,47	3,72
12	0,10	2,55	2,71	3,08	3,51	3,73	0,11	2,44	2,62	3,03	3,52	3,77
13	0,10	2,55	2,71	3,09	3,51	3,73	0,12	2,47	2,65	3,07	3,56	3,81
14	0,10	2,56	2,72	3,09	3,51	3,73	0,12	2,50	2,68	3,10	3,59	3,85
15	0,10	2,56	2,72	3,09	3,51	3,72	0,12	2,52	2,70	3,13	3,63	3,89
16	0,10	2,57	2,73	3,09	3,51	3,72	0,12	2,54	2,72	3,16	3,66	3,92
17	0,10	2,57	2,73	3,09	3,51	3,72	0,12	2,56	2,74	3,18	3,69	3,95
18	0,10	2,58	2,73	3,09	3,50	3,71	0,11	2,58	2,76	3,20	3,71	3,97

Tab. 14: Rozložení referenčních dat pro parametr P_{\max} ve vztahu k tělesné hmotnosti podle percentilů a parametrů S a M. Parametr L = 0.

tělesná hmotnost [kg]	P_{\max} [W]											
	dívky						chlapci					
	S	P3	P10	M, P50	P90	P97	S	P3	P10	M, P50	P90	P97
20	0,15	522	570	688	831	908	0,17	482	534	665	827	916
30	0,15	870	951	1150	1391	1521	0,18	818	908	1137	1423	1581
40	0,15	1214	1327	1606	1943	2124	0,18	1158	1289	1621	2037	2267
50	0,15	1605	1755	2123	2569	2808	0,18	1559	1738	2191	2763	3080
60	0,15	1859	2032	2458	2974	3250	0,18	2008	2240	2831	3578	3992
70	0,15	2004	2190	2648	3201	3499	0,18	2393	2672	3382	4282	4781

Tab. 15: Rozložení referenčních dat pro parametr P_{\max}/BM ve vztahu k tělesné hmotnosti podle percentilů a parametrů S a M. Parametr L = 0,5.

tělesná hmotnost [kg]	P_{\max}/BM [W/kg]											
	dívky						chlapci					
	S	P3	P10	M, P50	P90	P97	S	P3	P10	M, P50	P90	P97
20	0,08	25,0	27,8	34,5	41,8	45,5	0,09	22,6	25,7	33,0	41,2	45,3
30	0,08	28,2	31,3	38,5	46,4	50,3	0,09	26,2	29,7	38,0	47,3	52,0
40	0,08	29,9	33,1	40,5	48,7	52,8	0,09	28,6	32,4	41,4	51,5	56,6
50	0,07	30,8	34,1	41,6	50,0	54,1	0,09	30,8	34,9	44,4	55,2	60,6
60	0,07	31,0	34,3	42,0	50,4	54,5	0,09	32,8	37,1	47,2	58,4	64,1
70	0,07	30,9	34,2	41,9	50,3	54,4	0,09	34,2	38,7	49,1	60,7	66,6

Tab. 16: Rozložení referenčních dat pro parametr F_{\max} ve vztahu k tělesné hmotnosti podle percentilů a parametrů S a M. Parametr L = 0,5.

tělesná hmotnost [kg]	F_{\max} [N]											
	dívky						chlapci					
	S	P3	P10	M, P50	P90	P97	S	P3	P10	M, P50	P90	P97
20	0,07	414	457	558	669	725	0,08	361	406	510	626	685
30	0,06	733	792	926	1070	1142	0,07	665	734	892	1066	1153
40	0,05	1014	1084	1243	1412	1495	0,07	948	1036	1239	1460	1569
50	0,05	1300	1381	1561	1753	1847	0,06	1214	1319	1559	1818	1947
60	0,04	1495	1582	1777	1984	2085	0,06	1469	1588	1859	2151	2295
70	0,04	1608	1700	1904	2120	2225	0,06	1688	1819	2116	2434	2591

Tab. 17: Rozložení referenčních dat pro parametr F_{\max}/F_G ve vztahu k tělesné hmotnosti podle percentilů a parametrů S a M. Parametr L = 0,5.

tělesná hmotnost [kg]	F_{\max}/F_G											
	dívky						chlapci					
	S	P3	P10	M, P50	P90	P97	S	P3	P10	M, P50	P90	P97
20	0,05	2,52	2,69	3,08	3,50	3,70	0,06	2,25	2,44	2,86	3,32	3,55
30	0,05	2,54	2,71	3,10	3,50	3,70	0,06	2,36	2,55	3,00	3,47	3,71
40	0,05	2,55	2,72	3,10	3,50	3,69	0,06	2,41	2,61	3,06	3,55	3,79
50	0,05	2,56	2,72	3,10	3,49	3,68	0,06	2,44	2,64	3,10	3,59	3,84
60	0,05	2,56	2,72	3,09	3,48	3,68	0,06	2,46	2,66	3,12	3,62	3,86
70	0,05	2,56	2,73	3,09	3,48	3,67	0,06	2,46	2,67	3,13	3,63	3,87

Přílohy: Grafy

Graf 1: Početní zastoupení dívek a chlapců vyšetřených metodou s2LJ.

Graf 2: Početní zastoupení dívek a chlapců vyšetřených metodou m1LH.

Graf 3: Početní zastoupení dívek a chlapců vyšetřených antropometricky.

Graf 4: Regresní křivky aproximující parametr P_{\max} z hlediska věku u dívek a chlapců.

Graf 5: Regresní křivky aproximující parametr P_{\max} z hlediska tělesné výšky u dívek a chlapců.

Graf 6: Regresní křivky aproximující parametr P_{\max} z hlediska tělesné hmotnosti u dívek a chlapců.

Graf 7: Regresní křivky aproximující parametr P_{\max}/BM z hlediska věku u dívek a chlapců.

Graf 8: Regresní křivky aproximující parametr P_{\max}/BM z hlediska tělesné výšky u dívek a chlapců.

Graf 9: Regresní křivky aproximující parametr P_{\max}/BM z hlediska tělesné hmotnosti u dívek a chlapců.

Graf 10: Regresní křivky aproximující parametr F_{\max} z hlediska věku u dívek a chlapců.

Graf 11: Regresní křivky aproximující parametr F_{\max} z hlediska tělesné výšky u dívek a chlapců.

Graf 12: Regresní křivky aproximující parametr F_{\max} z hlediska tělesné hmotnosti u dívek a chlapců.

Graf 13: Regresní křivky aproximující parametr F_{\max}/F_G z hlediska věku u dívek a chlapců.

Graf 14: Regresní křivky aproximující parametr F_{\max}/F_G z hlediska tělesné výšky u dívek a chlapců.

Graf 15: Regresní křivky aproximující parametr F_{\max}/F_G z hlediska tělesné hmotnosti u dívek a chlapců.

Graf 16: Vývoj odhadnutého množství tělesného tuku (FM) s věkem, tělesnou výškou a tělesnou hmotností u dívek a chlapců.

Graf 17: Závislost parametru P_{\max} na tělesné hmotnosti s vyznačením hodnot odhadnutého množství tělesného tuku podle kvartilů.

Graf 18: Vývoj odhadnutého množství tukuprosté hmoty (FFM) s věkem, tělesnou výškou a tělesnou hmotností u dívek a chlapců.

Graf 19: Vývoj indexu proporcionality postavy s věkem, tělesnou výškou a tělesnou hmotností u dívek a chlapců.

Graf 20: Referenční křivky parametrů P_{\max} , P_{\max}/BM , F_{\max} , F_{\max}/F_G ve vztahu k věku pro dívky a chlapce s individuálními hodnotami (zkonstruované metodou LMS).

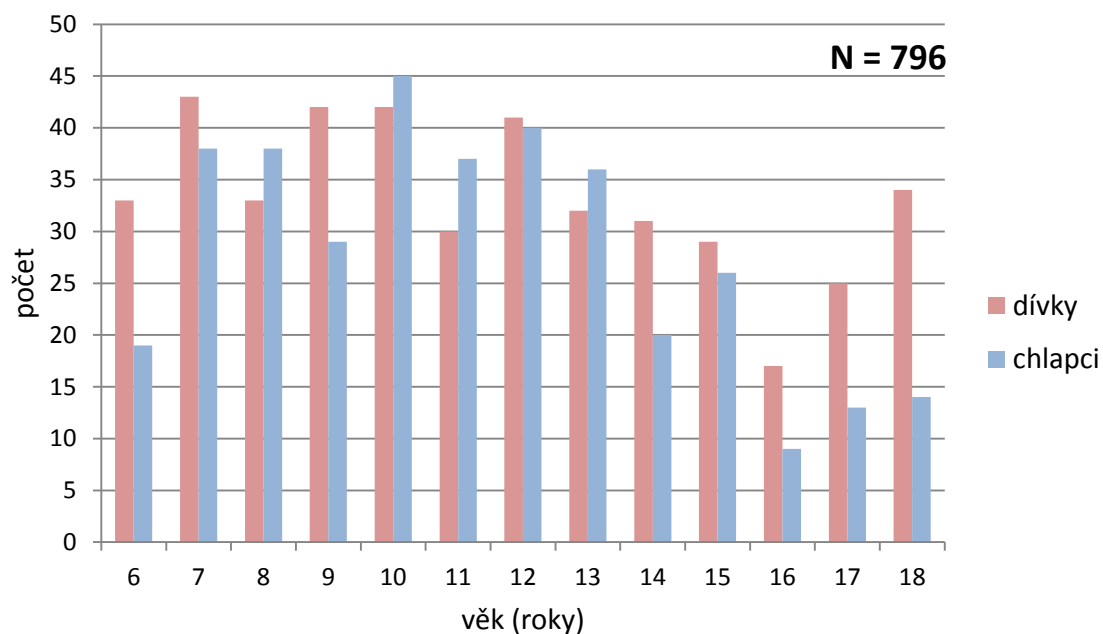
Graf 21: Referenční křivky parametrů P_{\max} , P_{\max}/BM , F_{\max} , F_{\max}/F_G ve vztahu k tělesné hmotnosti pro dívky a chlapce s individuálními hodnotami (zkonstruované metodou LMS).

Graf 22: Hladké percentilové křivky parametrů P_{\max} , P_{\max}/BM , F_{\max} , F_{\max}/F_G ve vztahu k věku (zkonstruované metodou LMS).

Graf 23: Hladké percentilové křivky parametrů P_{\max} , P_{\max}/BM , F_{\max} , F_{\max}/F_G ve vztahu k tělesné hmotnosti (zkonstruované metodou LMS).

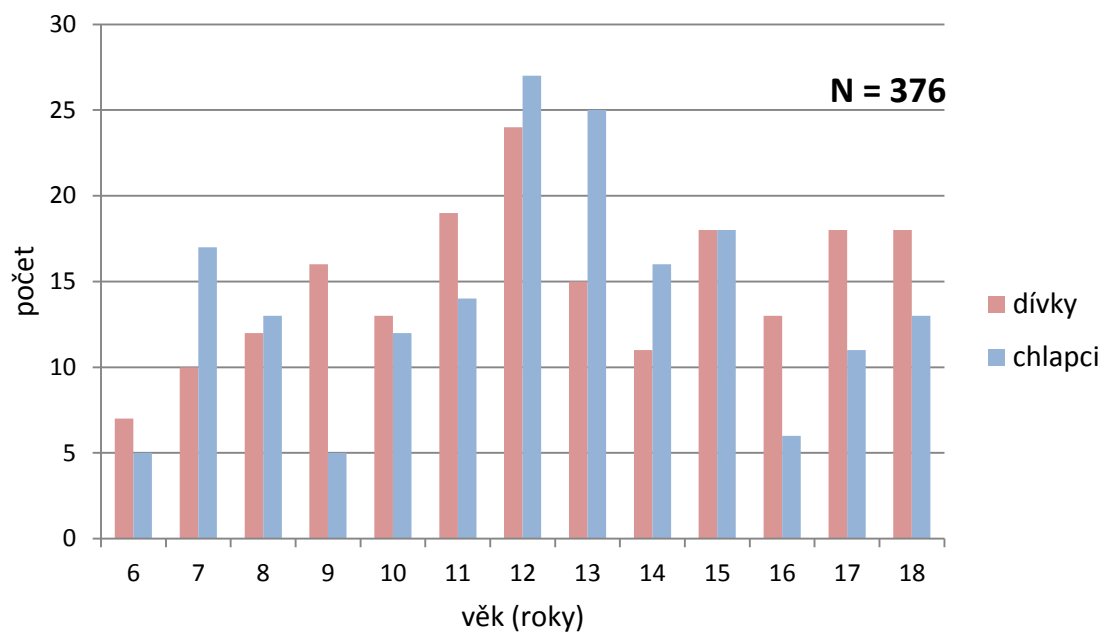
Graf 24: Porovnání výsledků průměrné hodnoty parametru P_{\max} ve vztahu k věku mezi sledovaným souborem a referenčním souborem Fricke a spol. (2006).

Graf 1: Početní zastoupení dívek (432) a chlapců (364) vyšetřených metodou s2LJ.

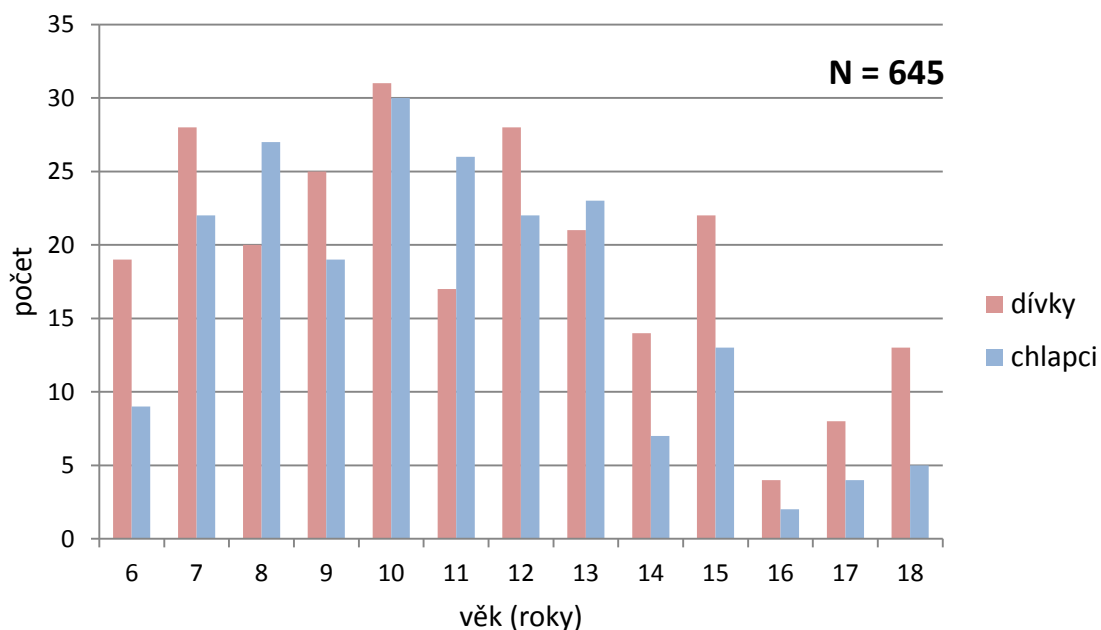


U všech 796 jedinců byla změřena tělesná výška a tělesná hmotnost.

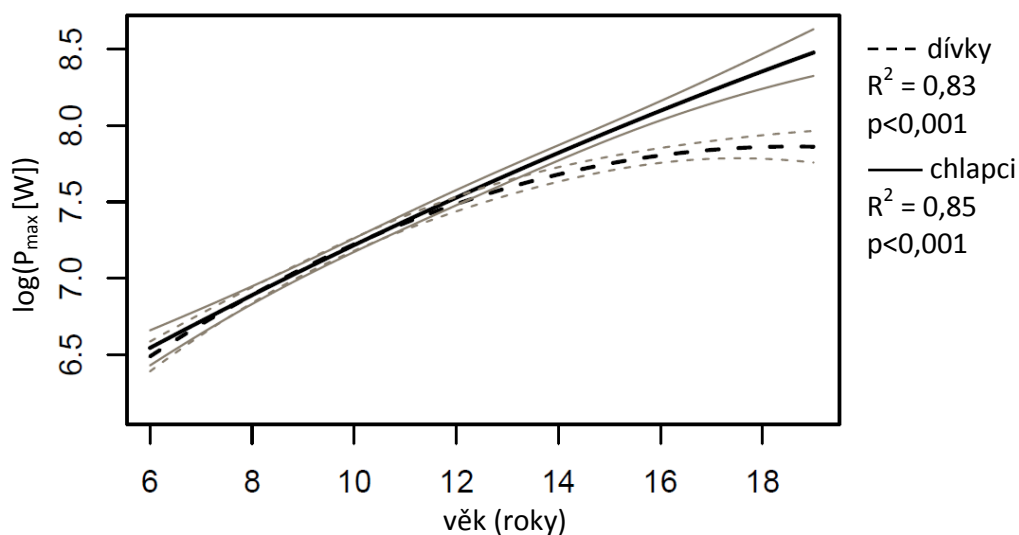
Graf 2: Početní zastoupení dívek (194) a chlapců (182) vyšetřených metodou m1LH.



Graf 3: Početní zastoupení dívek (357) a chlapců (288), u nichž bylo zrealizováno kompletní antropometrické vyšetření.



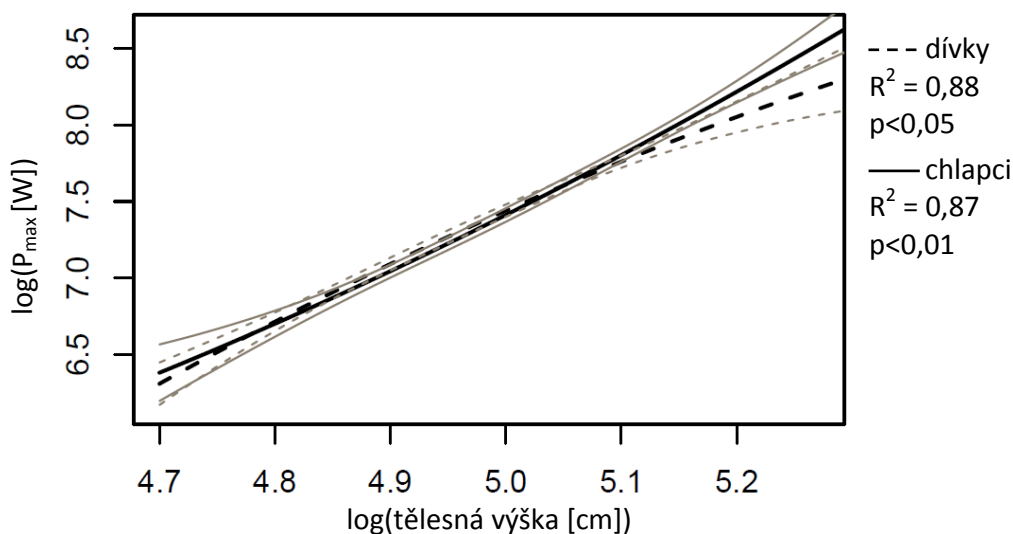
Graf 4: Regresní křivky aproximující parametr P_{\max} z hlediska věku u dívek a chlapců.



$$\begin{aligned} \text{dívky: } \log(P_{\max} [\text{W}]) &= 4,9 + 0,32 \cdot \text{věk} - 0,0087 \cdot \text{věk}^2 \\ \text{chlapci: } \log(P_{\max} [\text{W}]) &= 5,4 + 0,2 \cdot \text{věk} - 0,0022 \cdot \text{věk}^2 \end{aligned}$$

Zakreslen je 95% pás spolehlivosti pro celou regresní křivku. Uvedeny jsou rovnice regresních křivek s ohledem na pohlaví.

Graf 5: Regresní křivky aproximující parametr P_{\max} z hlediska tělesné výšky u dívek a chlapců.

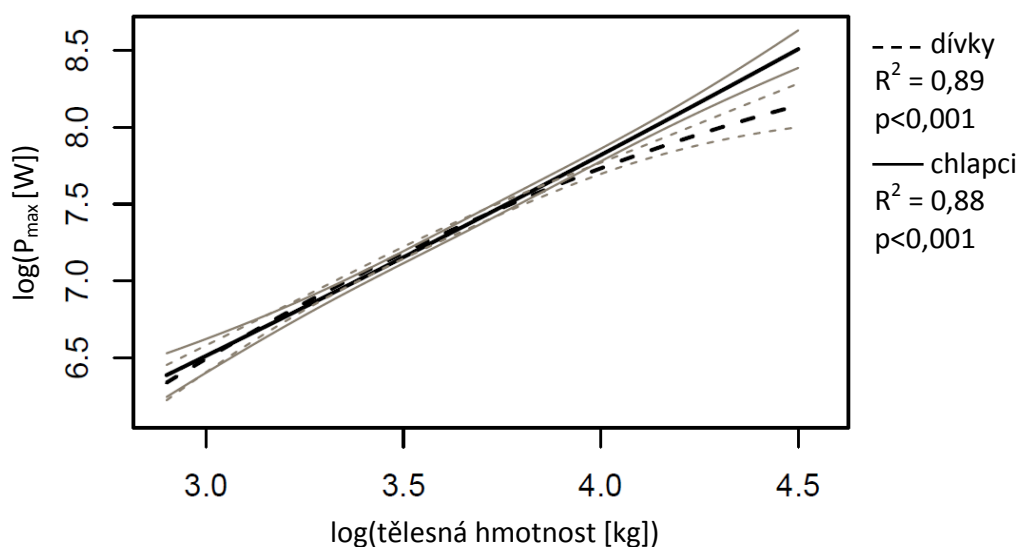


dívky: $\log(P_{\max} [W]) = -45 + 18 \cdot \log(\text{tělesná výška}) - 1,4 \cdot \log^2(\text{tělesná výška})$

chlapci: $\log(P_{\max} [W]) = 18 - 8 \cdot \log(\text{tělesná výška}) + 1,2 \cdot \log^2(\text{tělesná výška})$

Zakreslen je 95% pás spolehlivosti pro celou regresní křivku. Uvedeny jsou rovnice regresních křivek s ohledem na pohlaví.

Graf 6: Regresní křivky aproximující parametr P_{\max} z hlediska tělesné hmotnosti u dívek a chlapců.

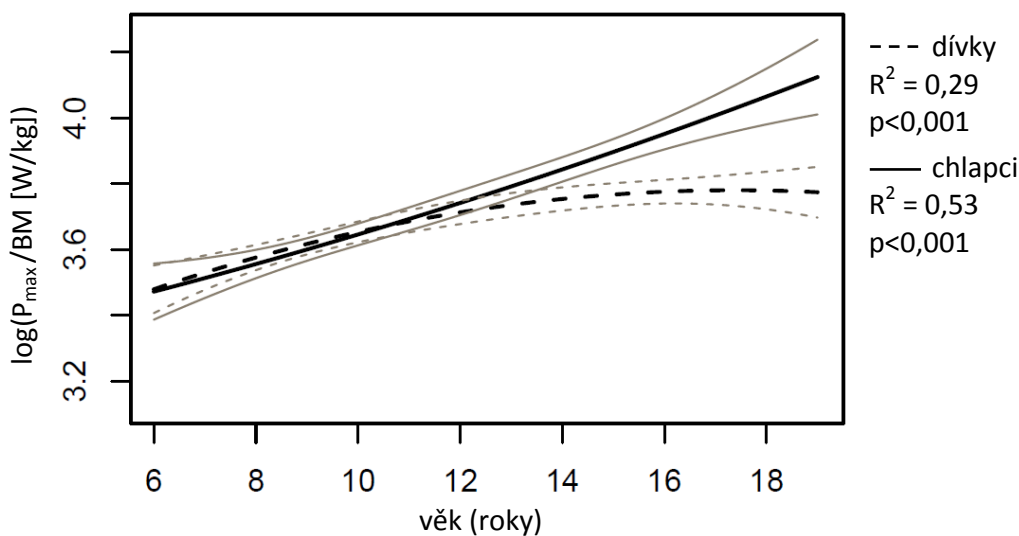


dívky: $\log(P_{\max} [W]) = -0,61 + 3,2 \cdot \log(\text{tělesná hmotnost}) - 0,28 \cdot \log^2(\text{tělesná hmotnost})$

chlapci: $\log(P_{\max} [W]) = 3,1 + 0,98 \cdot \log(\text{tělesná hmotnost}) + 0,047 \cdot \log^2(\text{tělesná hmotnost})$

Zakreslen je 95% pás spolehlivosti pro celou regresní křivku. Uvedeny jsou rovnice regresních křivek s ohledem na pohlaví.

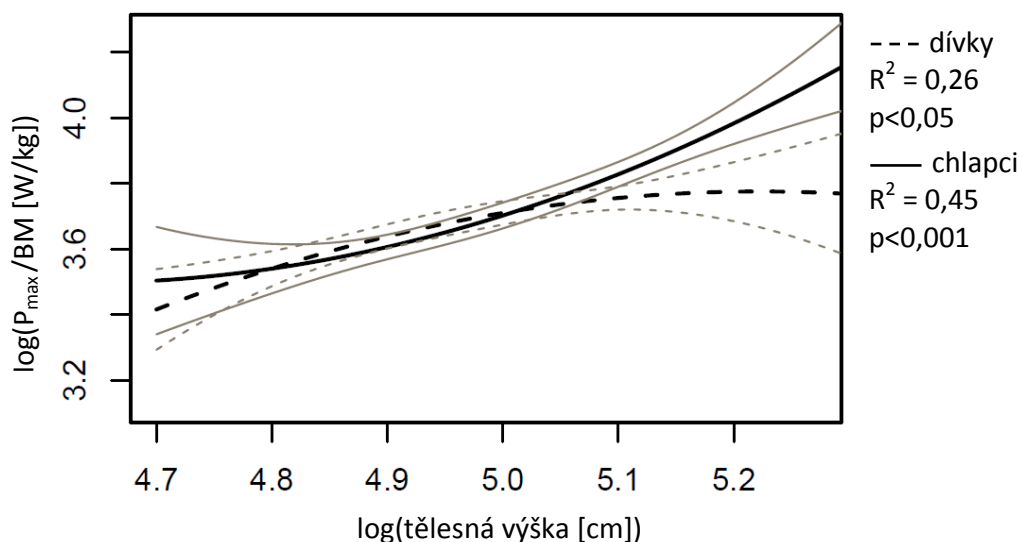
Graf 7: Regresní křivky aproximující parametr P_{\max}/BM z hlediska věku u dívek a chlapců.



$$\begin{aligned} \text{dívky: } \log(P_{\max}/BM [W/kg]) &= 3,1 + 0,081 \cdot \text{věk} - 0,0023 \cdot \text{věk}^2 \\ \text{chlapci: } \log(P_{\max}/BM [W/kg]) &= 3,3 + 0,031 \cdot \text{věk} + 0,00075 \cdot \text{věk}^2 \end{aligned}$$

Zakreslen je 95% pás spolehlivosti pro celou regresní křivku. Uvedeny jsou rovnice regresních křivek s ohledem na pohlaví.

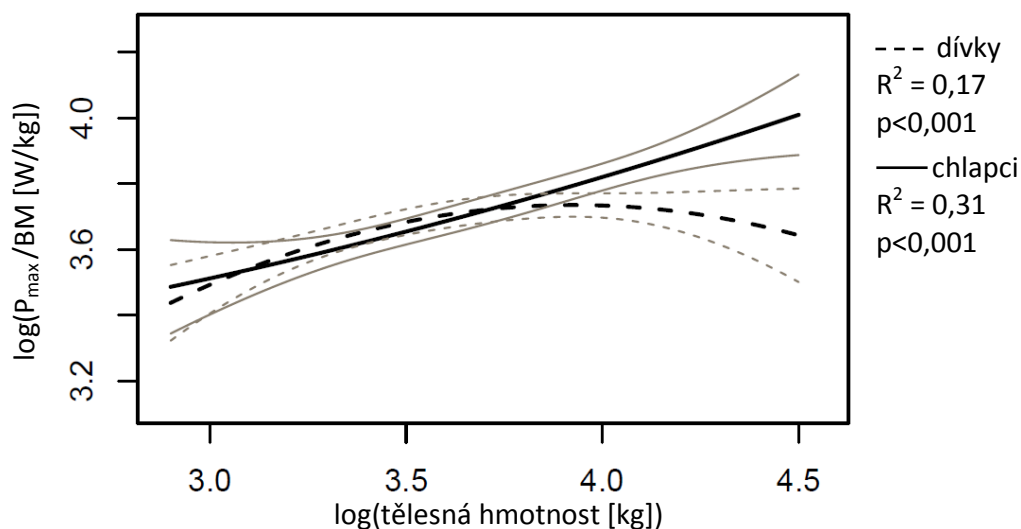
Graf 8: Regresní křivky aproximující parametr P_{\max}/BM z hlediska tělesné výšky u dívek a chlapců.



$$\begin{aligned} \text{dívky: } \log(P_{\max}/BM [W/kg]) &= -32 + 14 \cdot \log(\text{tělesná výška}) - 1,3 \cdot \log^2(\text{tělesná výška}) \\ \text{chlapci: } \log(P_{\max}/BM [W/kg]) &= 35 - 14 \cdot \log(\text{tělesná výška}) + 1,5 \cdot \log^2(\text{tělesná výška}) \end{aligned}$$

Zakreslen je 95% pás spolehlivosti pro celou regresní křivku. Uvedeny jsou rovnice regresních křivek s ohledem na pohlaví.

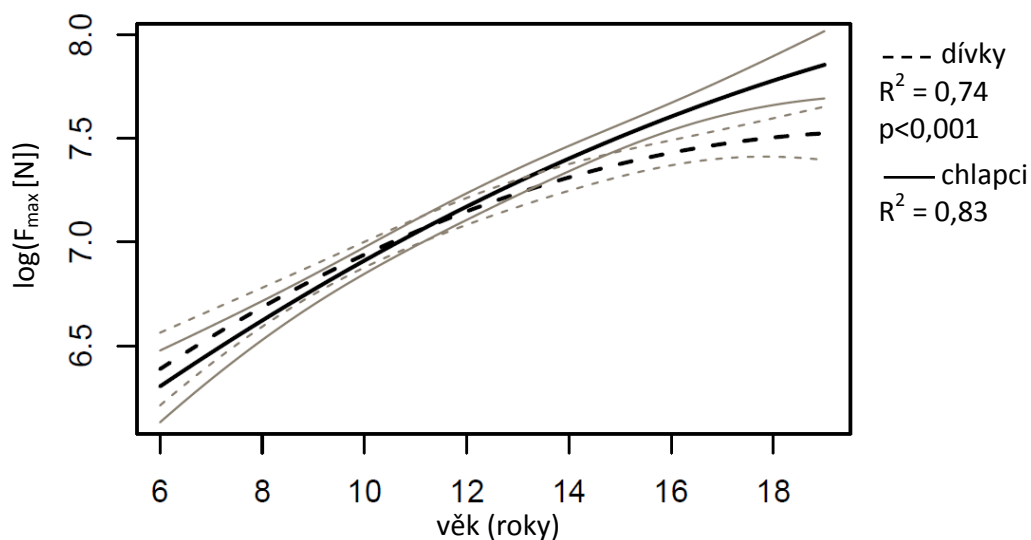
Graf 9: Regresní křivky aproximující parametr P_{\max}/BM z hlediska tělesné hmotnosti u dívek a chlapců.



dívky: $\log(P_{\max}/BM [W/kg]) = -0,61 + 2,2 \cdot \log(hmotnost) - 0,28 \cdot \log^2(hmotnost)$
 chlapci: $\log(P_{\max}/BM [W/kg]) = 3,1 - 0,02 \cdot \log(hmotnost) + 0,047 \cdot \log^2(hmotnost)$

Zakreslen je 95% pás spolehlivosti pro celou regresní křivku. Uvedeny jsou rovnice regresních křivek s ohledem na pohlaví.

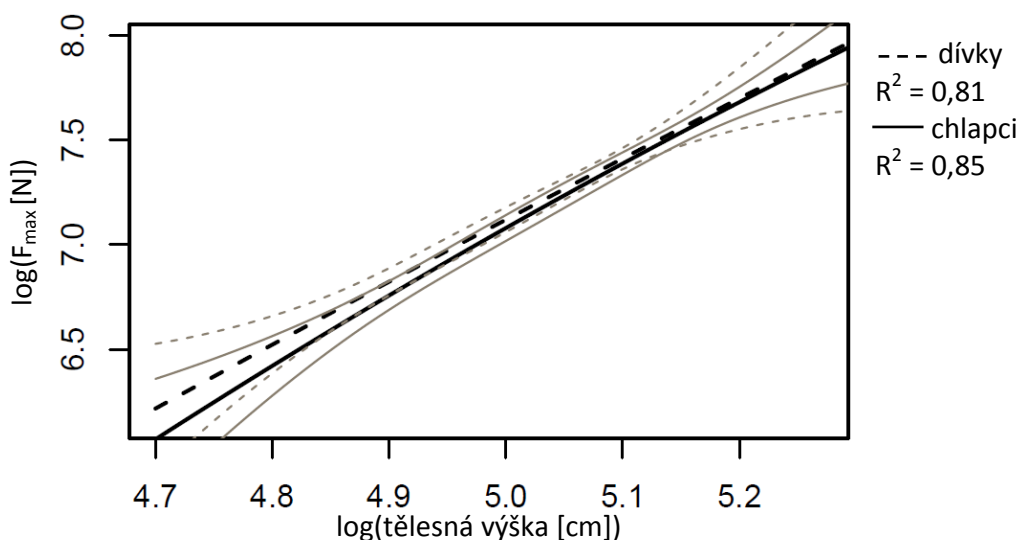
Graf 10: Regresní křivky aproximující parametr F_{\max} z hlediska věku u dívek a chlapců.



dívky: $\log(F_{\max} [N]) = 5,2 + 0,23 \cdot \text{věk} - 0,0056 \cdot \text{věk}^2$
 chlapci: $\log(F_{\max} [N]) = 5,2 + 0,21 \cdot \text{věk} - 0,0036 \cdot \text{věk}^2$

Zakreslen je 95% pás spolehlivosti pro celou regresní křivku. Uvedeny jsou rovnice regresních křivek s ohledem na pohlaví.

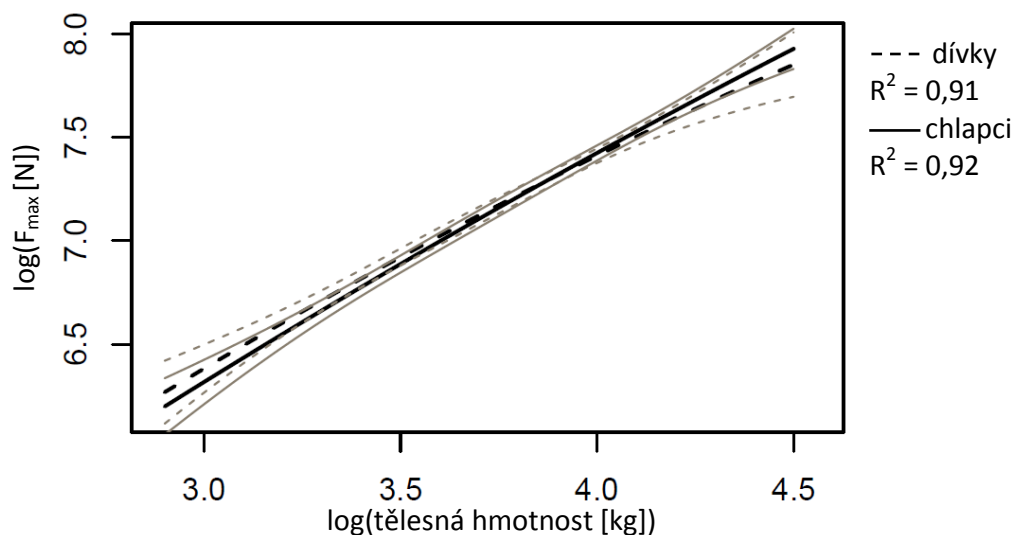
Graf 11: Regresní křivky aproximující parametr F_{\max} z hlediska tělesné výšky u dívek a chlapců.



dívky: $\log(F_{\max} [N]) = -13 + 5,1 \cdot \log(\text{tělesná výška}) - 0,22 \cdot \log^2(\text{tělesná výška})$
 chlapci: $\log(F_{\max} [N]) = -27 + 10 \cdot \log(\text{tělesná výška}) - 0,72 \cdot \log^2(\text{tělesná výška})$

Zakreslen je 95% pás spolehlivosti pro celou regresní křivku. Uvedeny jsou rovnice regresních křivek s ohledem na pohlaví.

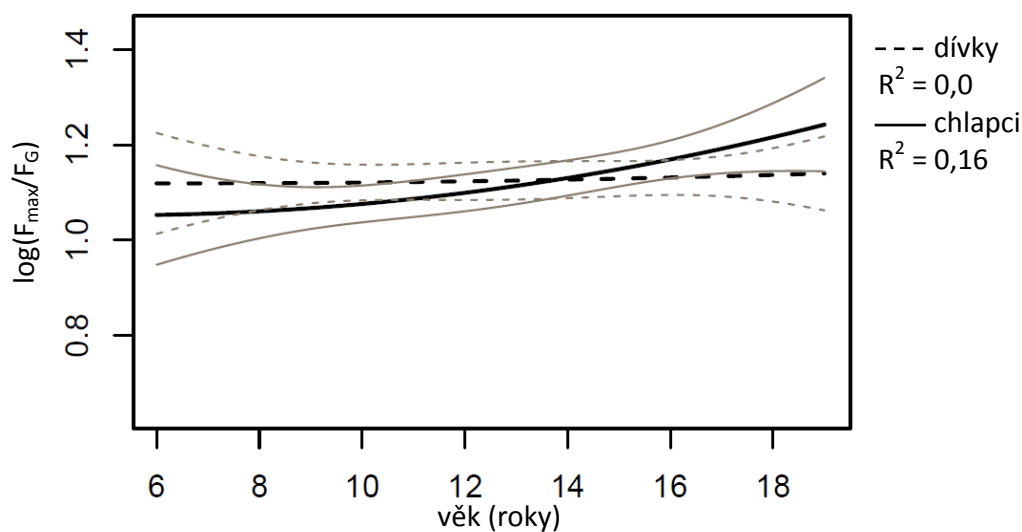
Graf 12: Regresní křivky aproximující parametr F_{\max} z hlediska tělesné hmotnosti u dívek a chlapců.



dívky: $\log(F_{\max} [N]) = 2,1 + 1,7 \cdot \log(\text{tělesná hmotnost}) - 0,099 \cdot \log^2(\text{tělesná hmotnost})$
 chlapci: $\log(F_{\max} [N]) = 2,2 + 1,6 \cdot \log(\text{tělesná hmotnost}) - 0,067 \cdot \log^2(\text{tělesná hmotnost})$

Zakreslen je 95% pás spolehlivosti pro celou regresní křivku. Uvedeny jsou rovnice regresních křivek s ohledem na pohlaví.

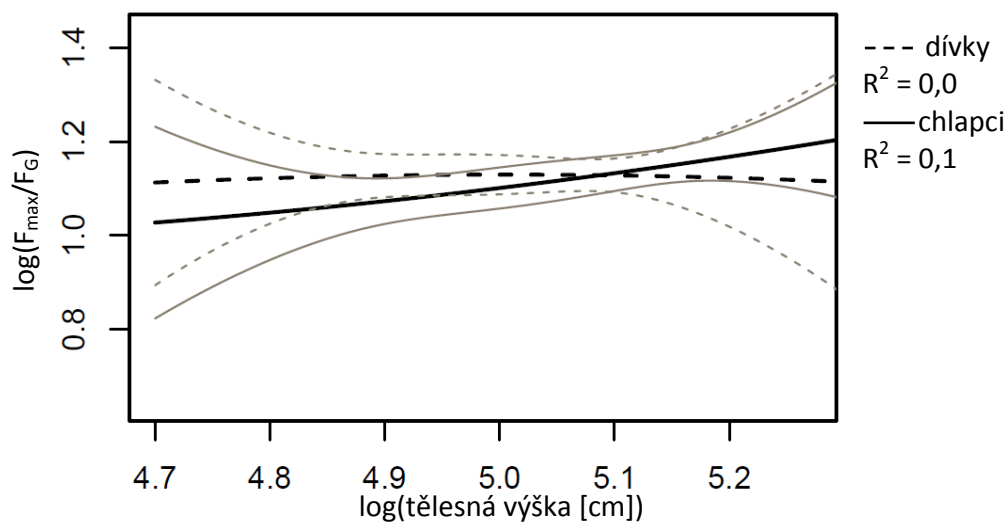
Graf 13: Regresní křivky aproximující parametr F_{\max}/F_G z hlediska věku u dívek a chlapců.



$$\begin{aligned} \text{dívký: } \log(F_{\max}/F_G) &= 1,1 - 0,0015 \cdot \text{věk} + 0,00013 \cdot \text{věk}^2 \\ \text{chlapci: } \log(F_{\max}/F_G) &= 1,1 - 0,0099 \cdot \text{věk} + 0,00098 \cdot \text{věk}^2 \end{aligned}$$

Zakreslen je 95% pás spolehlivosti pro celou regresní křivku. Uvedeny jsou rovnice regresních křivek s ohledem na pohlaví.

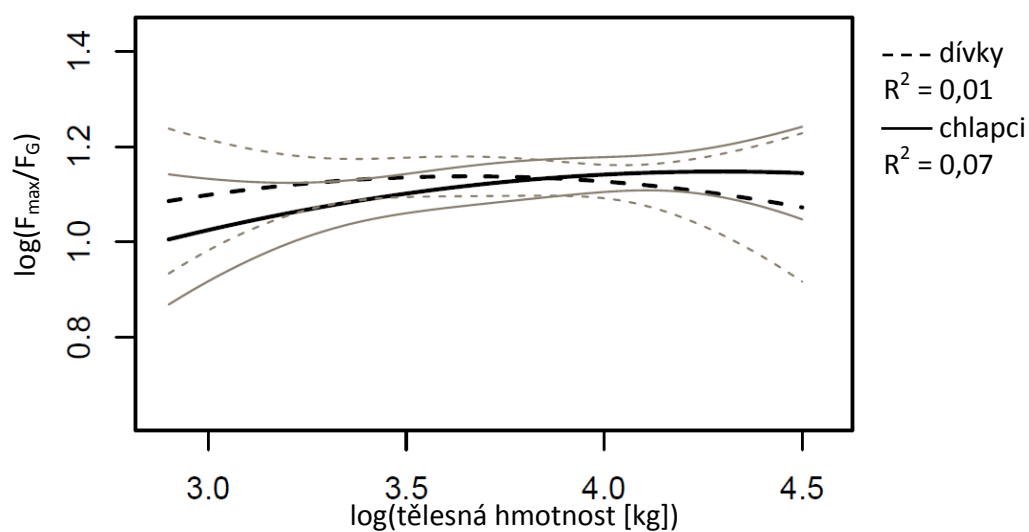
Graf 14: Regresní křivky aproximující parametr F_{\max}/F_G z hlediska tělesné výšky u dívek a chlapců.



$$\begin{aligned} \text{dívký: } \log(F_{\max}/F_G) &= -3,4 + 1,8 \cdot \log(\text{tělesná výška}) - 0,18 \cdot \log^2(\text{tělesná výška}) \\ \text{chlapci: } \log(F_{\max}/F_G) &= 4 - 1,4 \cdot \log(\text{tělesná výška}) + 0,17 \cdot \log^2(\text{tělesná výška}) \end{aligned}$$

Zakreslen je 95% pás spolehlivosti pro celou regresní křivku. Uvedeny jsou rovnice regresních křivek s ohledem na pohlaví.

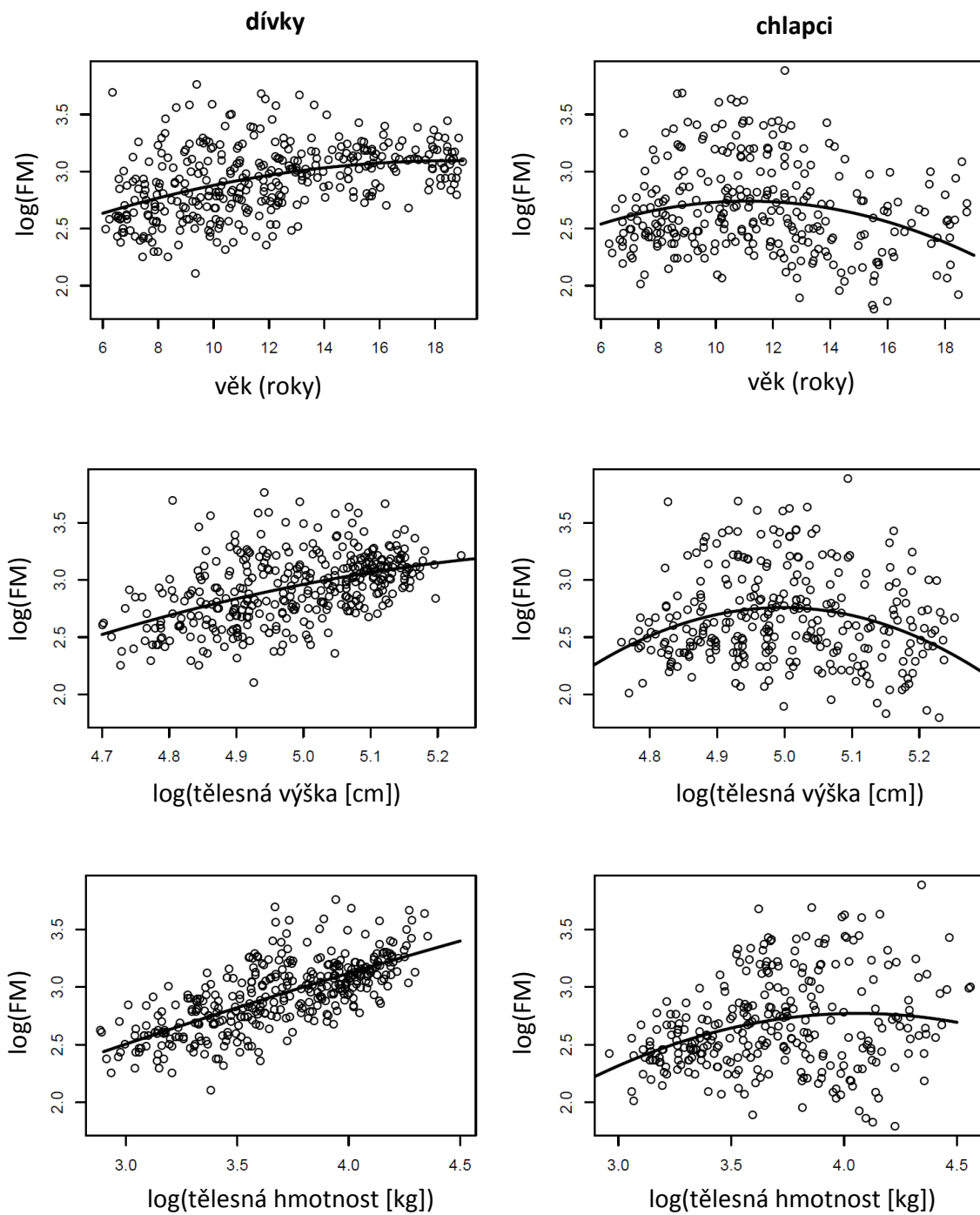
Graf 15: Regresní křivky aproximující parametr F_{\max}/F_G z hlediska tělesné hmotnosti u dívek a chlapců.



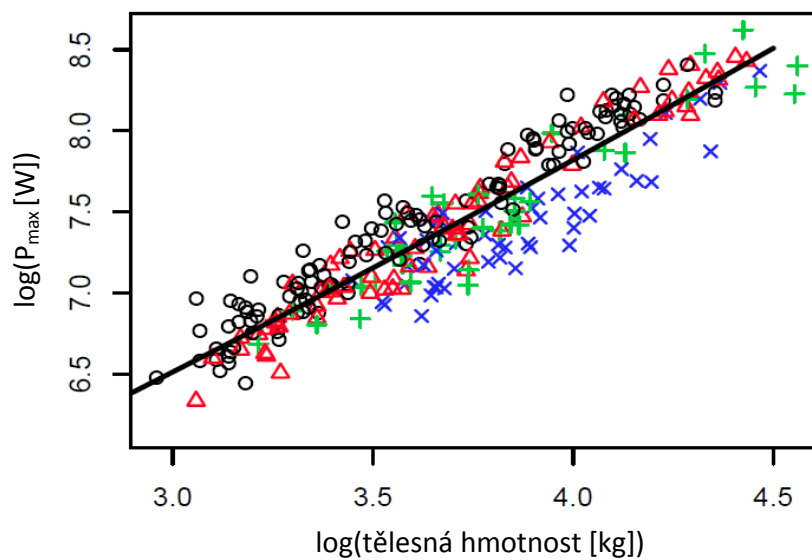
dívky: $\log(F_{\max}/F_G) = -0,079 + 0,67 \cdot \log(\text{tělesná hmotnost}) - 0,091 \cdot \log^2(\text{tělesná hmotnost})$
 chlapci: $\log(F_{\max}/F_G) = -0,2 + 0,63 \cdot \log(\text{tělesná hmotnost}) - 0,073 \cdot \log^2(\text{tělesná hmotnost})$

Zakreslen je 95% pás spolehlivosti pro celou regresní křivku. Uvedeny jsou rovnice regresních křivek s ohledem na pohlaví.

Graf 16: Vývoj odhadnutého množství tělesného tuku (FM) s věkem, tělesnou výškou a tělesnou hmotností u dívek a chlapců.

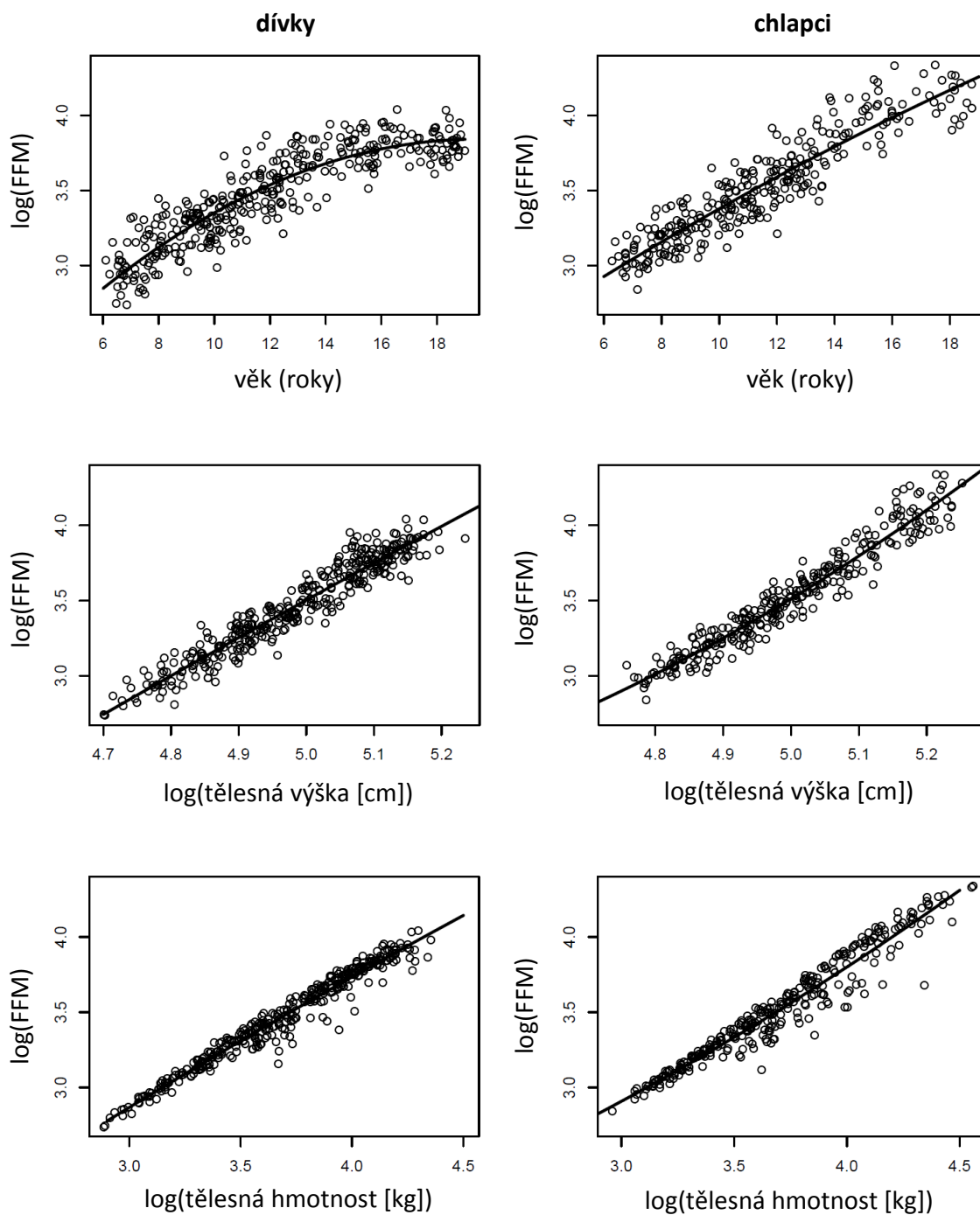


Graf 17: Závislost parametru P_{\max} na tělesné hmotnosti s vyznačením hodnot odhadnutého množství tělesného tuku (FM) podle kvartilů.

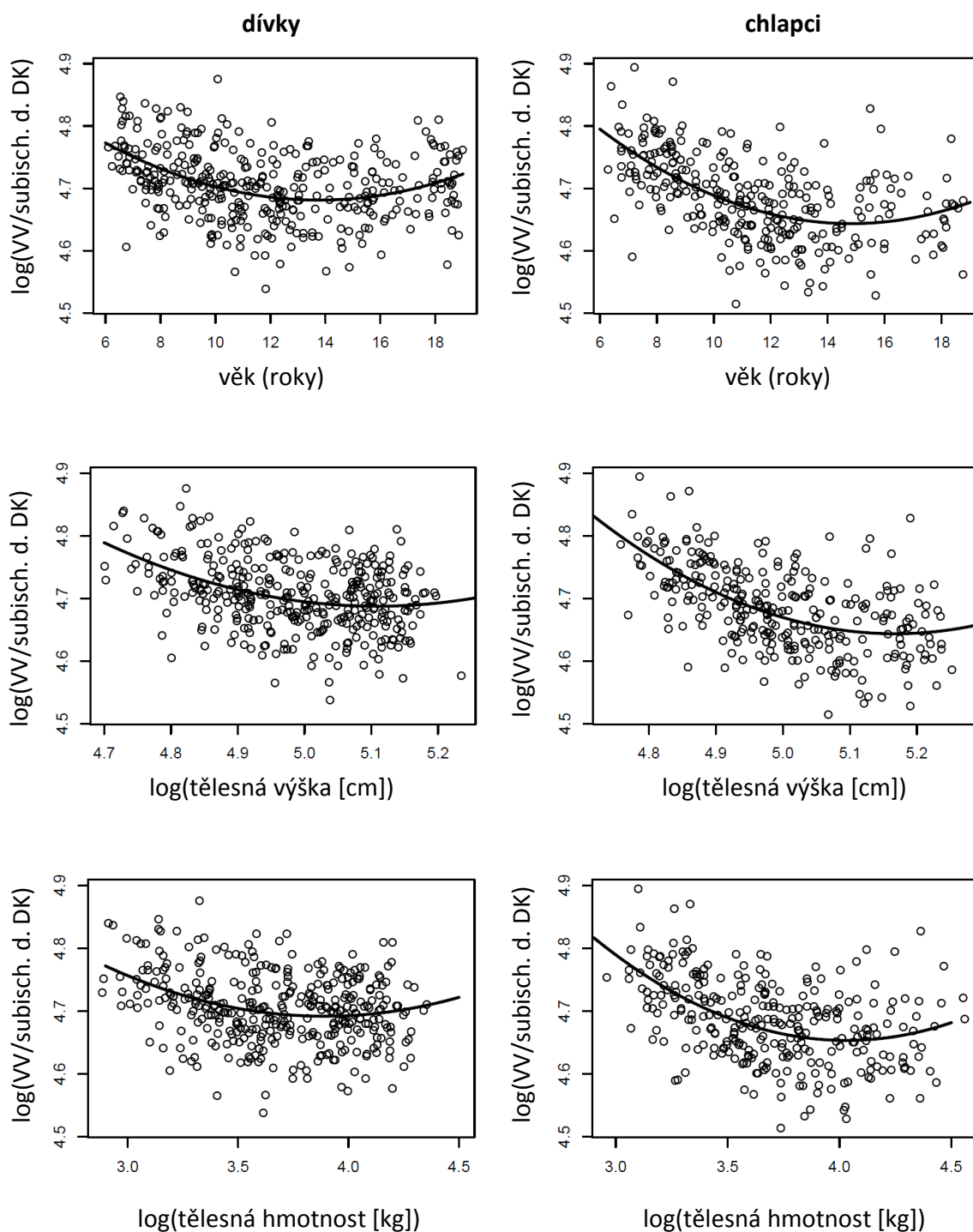


První kvartil značí černé kolečko, druhý červený trojúhelník, třetí zelené plus a čtvrtý modrý křížek.

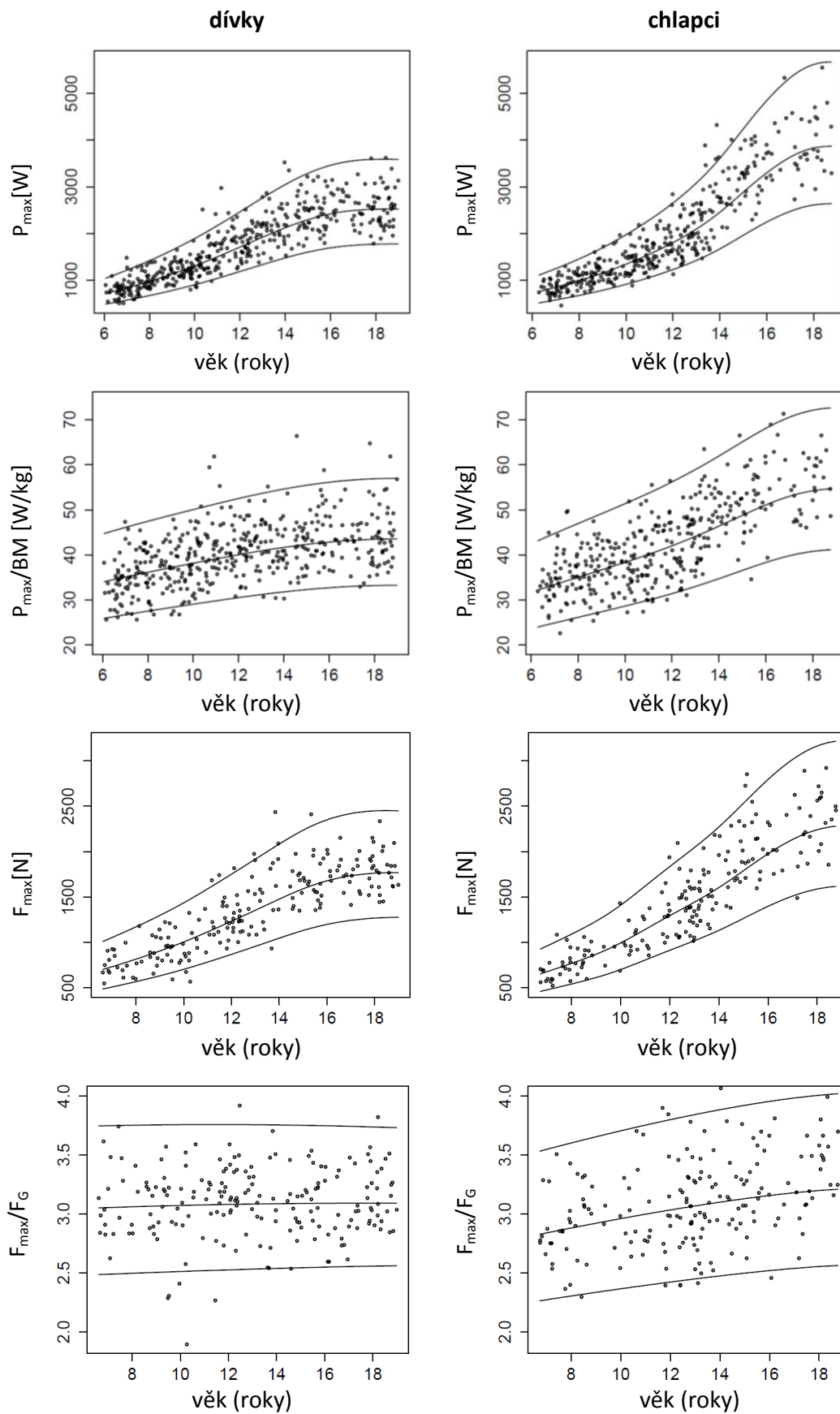
Graf 18: Vývoj odhadnutého množství tukuprosté hmoty (FFM) s věkem, tělesnou výškou a tělesnou hmotností u dívek a chlapců.



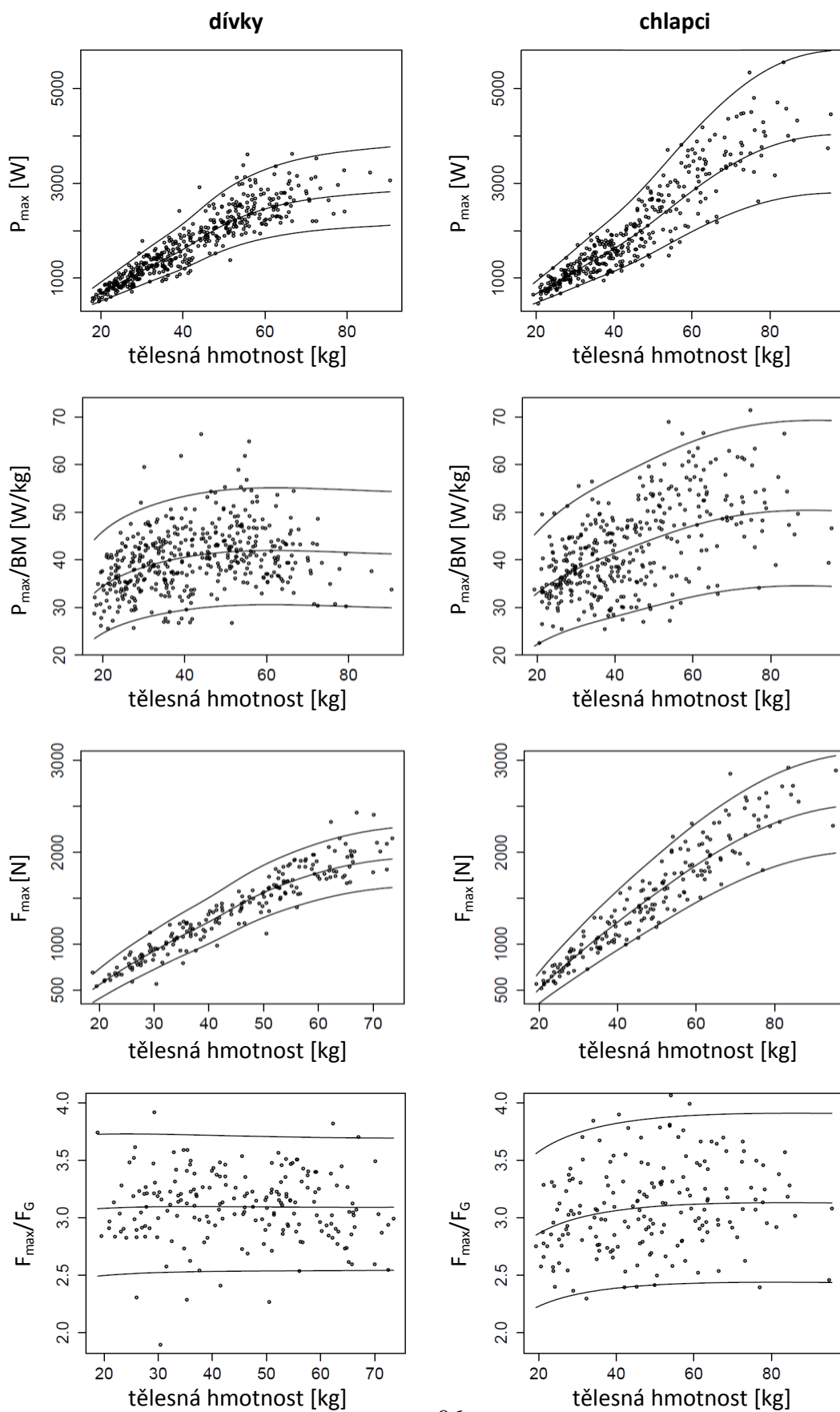
Graf 19: Vývoj indexu proporcionality (VV/subisch. d. DK) postavy s věkem, tělesnou výškou a tělesnou hmotností u dívek a chlapců.



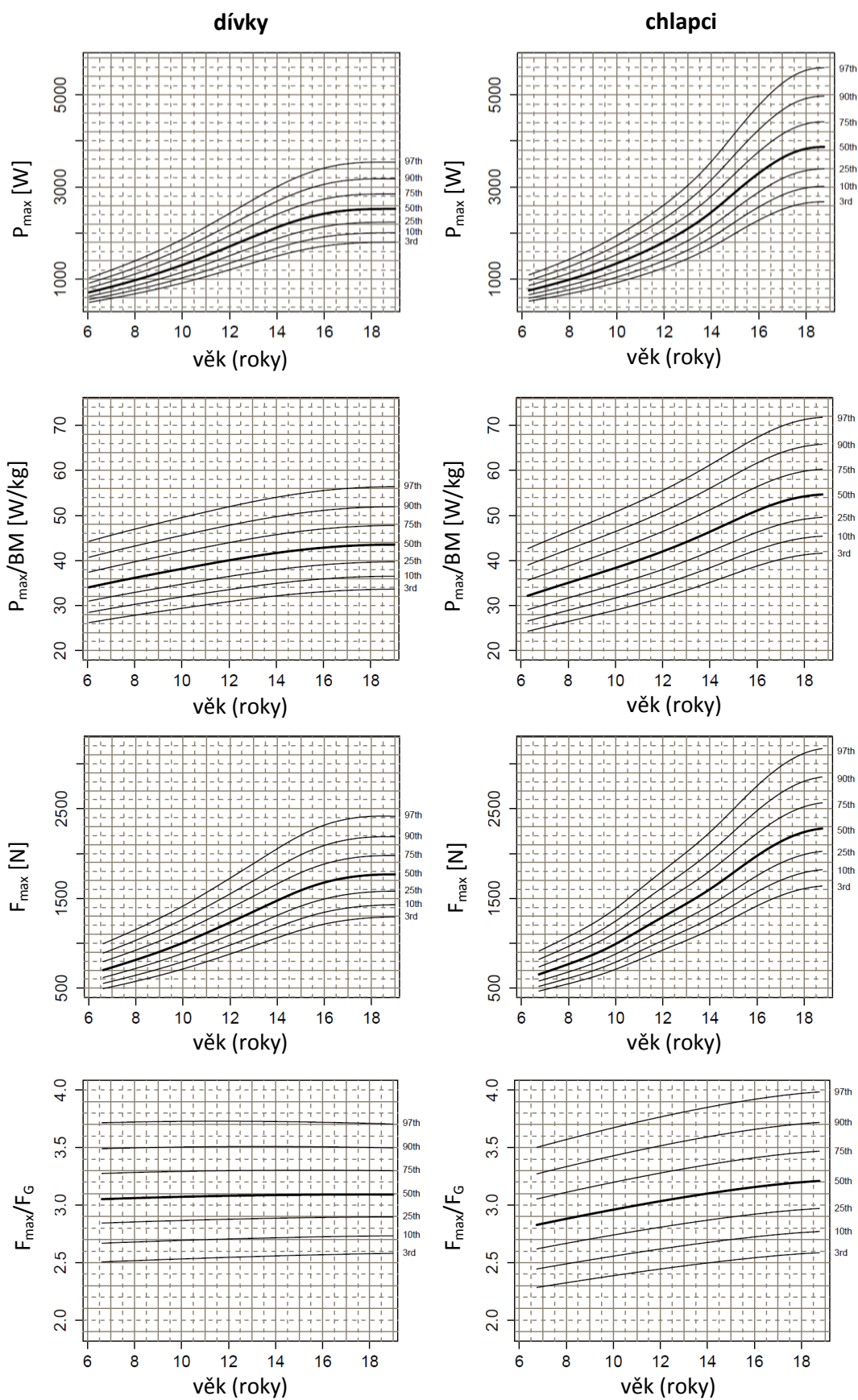
Graf 20: Referenční křivky parametrů P_{\max} , P_{\max}/BM , F_{\max} , F_{\max}/F_G ve vztahu k věku pro dívky a chlapce s individuálními hodnotami (zkonstruované metodou LMS).



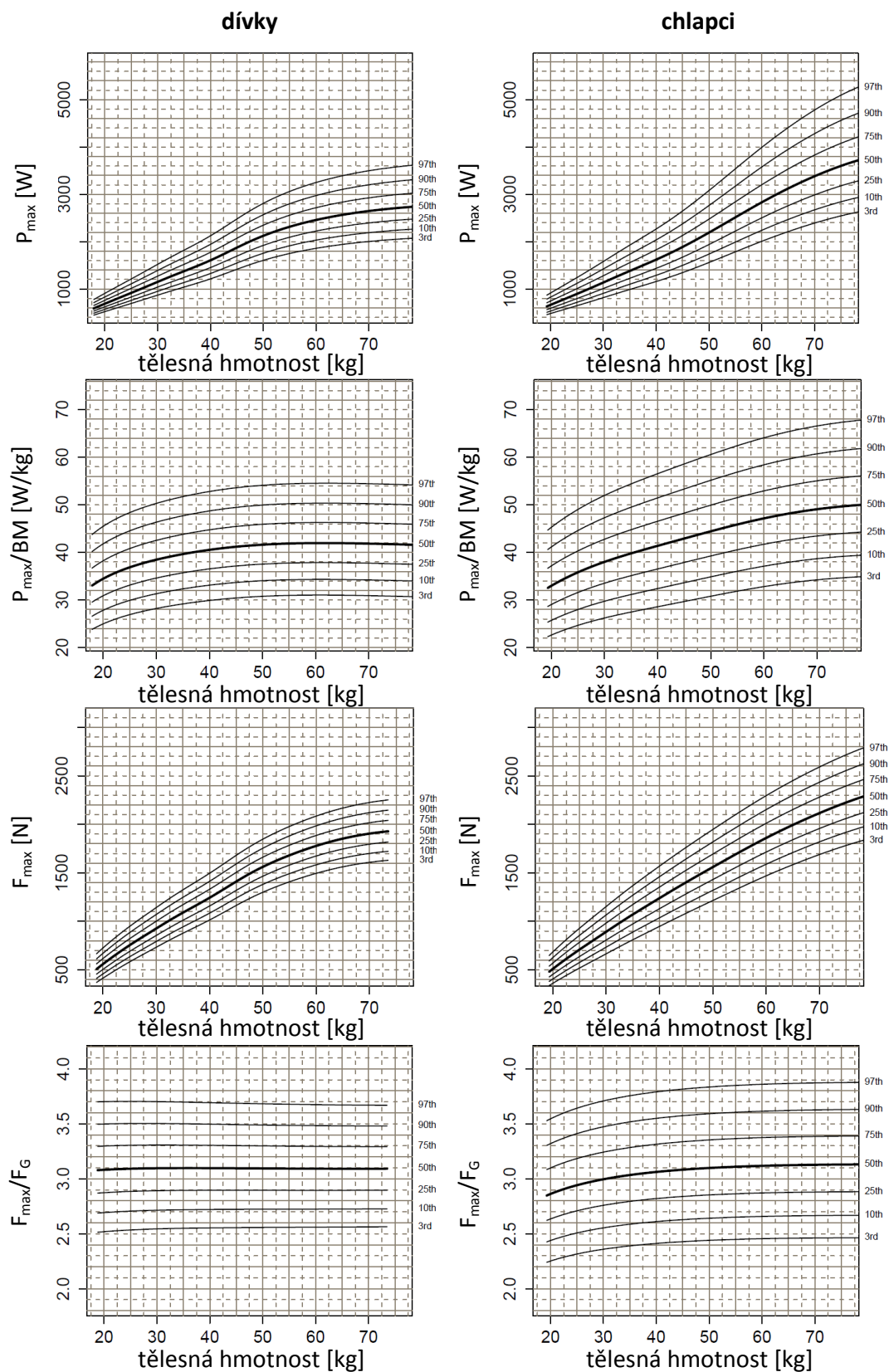
Graf 21: Referenční křivky parametrů P_{\max} , P_{\max}/BM , F_{\max} , F_{\max}/F_G ve vztahu k tělesné hmotnosti pro dívky a chlapce s individuálními hodnotami (zkonstruované metodou LMS).



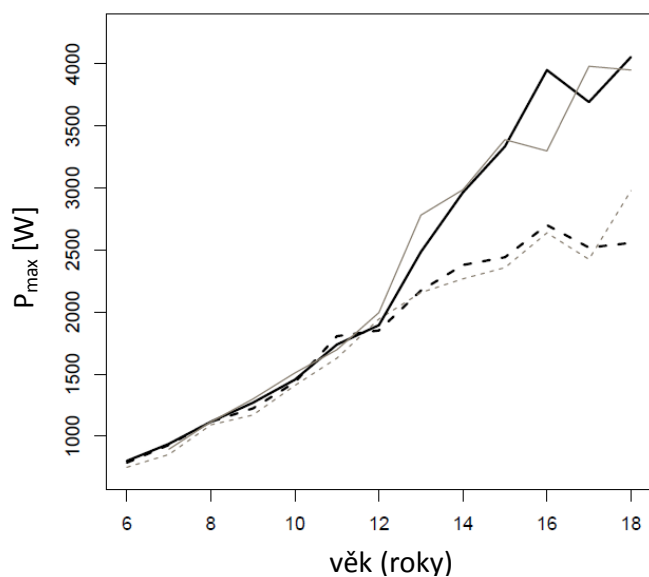
Graf 22: Hladké percentilové křivky parametrů P_{\max} , P_{\max}/BM , F_{\max} , F_{\max}/F_G ve vztahu k věku (zkonstruované metodou LMS).



Graf 23: Hladké percentilové křivky parametrů P_{\max} , P_{\max}/BM , F_{\max} , F_{\max}/F_G ve vztahu k tělesné hmotnosti (zkonstruované metodou LMS). Na pravé straně grafu jsou uvedeny percentily.



Graf 24: Porovnání výsledků průměrné hodnoty parametru P_{\max} ve vztahu k věku mezi sledovaným souborem (černé křivky) a referenčním souborem Fricke a spol. (2006) (šedivé křivky). Přerušované křivky značí vývoj hodnot u dívek.



P-hodnota testu celkového rozdílu v parametru P_{\max} pro dívky je 0,56.
P-hodnota testu celkového rozdílu v parametru P_{\max} pro chlapce je 0,8.

Přílohy: Obrázky

Obr. 1: Funkční model vývoje kosti podle hypotézy mechanostatu.

Obr. 2: Dvoukrokový algoritmus pro diagnostiku kostní poruchy.

Obr. 3: Mechanograf – „*Leonardo Mechanograph*[®] *Ground Reaction Force Platform*“.

Obr. 4: Kinematický profil testu s2LJ (výskok snožmo s protipohybem).

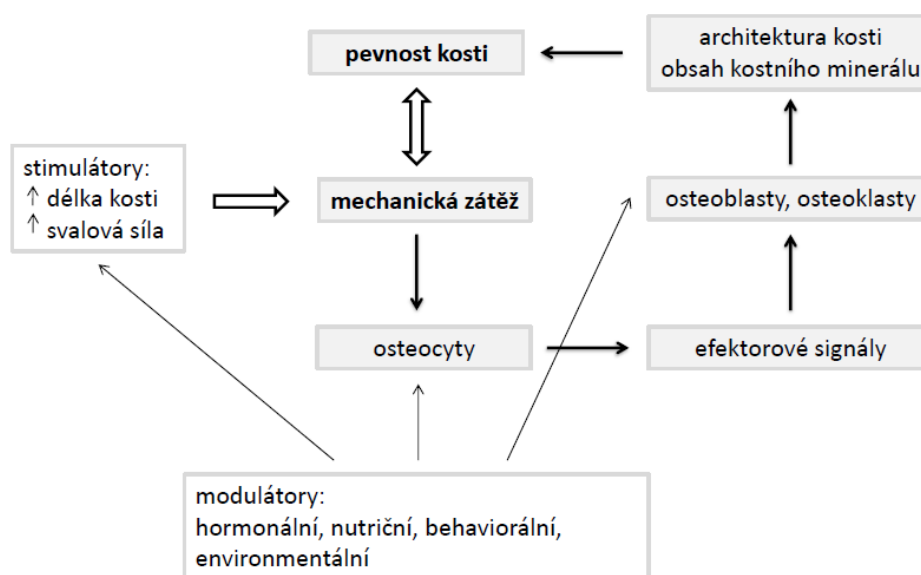
Obr. 5: Mechanogram – kinetický profil testu s2LJ.

Obr. 6: Kinematický profil testu m1LH (poskoky na jedné noze).

Obr. 7: Mechanogram – kinetický profil testu m1LH.

Obr. 8: Prospektivní algoritmus kvantifikace muskuloskeletálního statusu dolní končetiny.

Obr. 1: Funkční model vývoje kosti dle hypotézy mechanostatu.



(upraveno podle Rauch and Schoenau, 2001; Souček et al., 2009)

Obr. 2: Dvoustupňový algoritmus pro diagnostiku kostní poruchy.



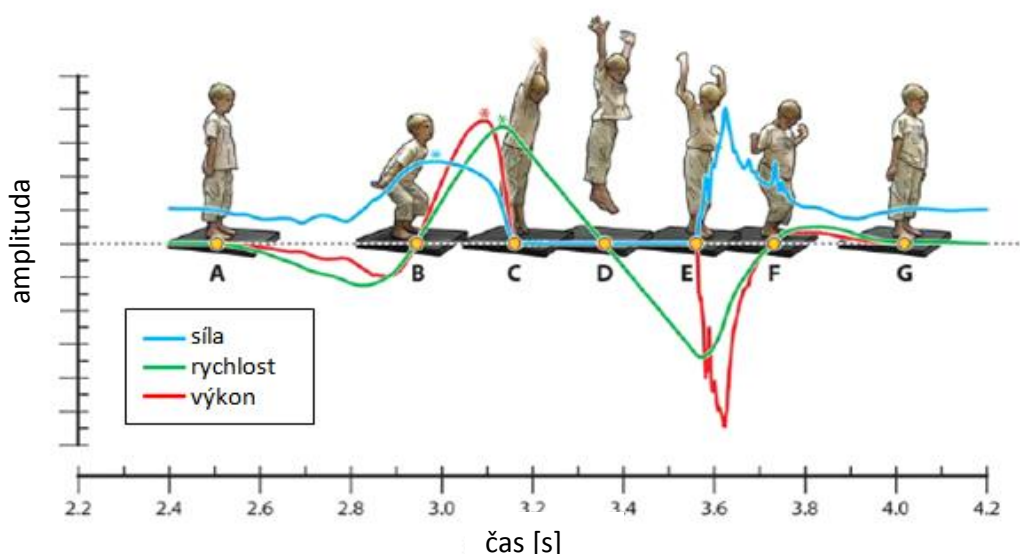
(upraveno podle Schoenau et al., 2002; Souček et al., 2009)

Obr. 3: Mechanograf – „Leonardo Mechanograph® Ground Reaction Force Platform“.



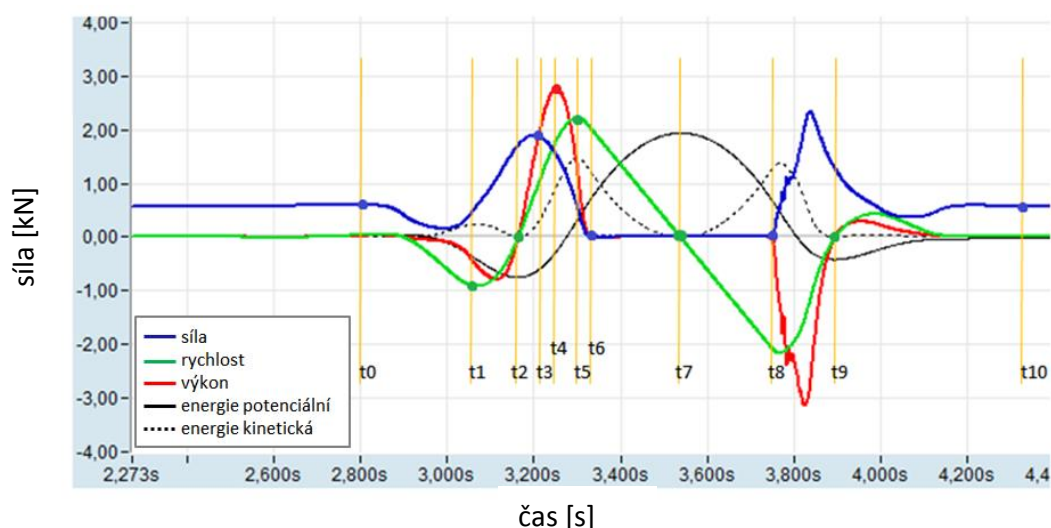
(převzato z <http://www.galileo-training.com/de-english/products/p6/leonardo-mechanograph-grfp.html>, citováno 1. 6. 2013)

Obr. 4: Kinematický profil testu s2LJ (výskok snožmo s protipohybem).



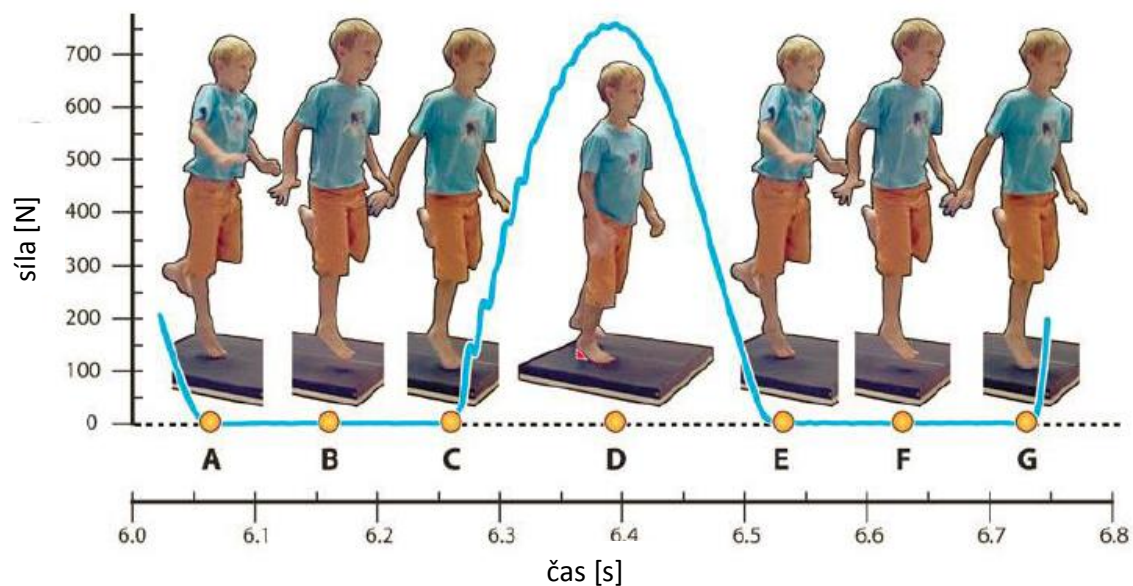
A. Klidový postoj. B. Nejnižší poloha těžiště těla („counter-movement“). C. Akcelerační fáze skoku, odraz. D. Nejvyšší poloha těžiště těla. E. První kontakt chodidla s podložkou v decelerační fázi skoku. F. Nejnižší poloha těžiště těla po doskoku. G. Klidový postoj. Modrá, červená a zelená hvězdička indikuje okamžik dosažení vrcholu maximální volní svalové síly, maximálního svalového výkonu a rychlosti v akcelerační fázi skoku (upraveno podle Veilleux and Rauch, 2010).

Obr. 5: Mechanogram – kinetický profil testu s2LJ.



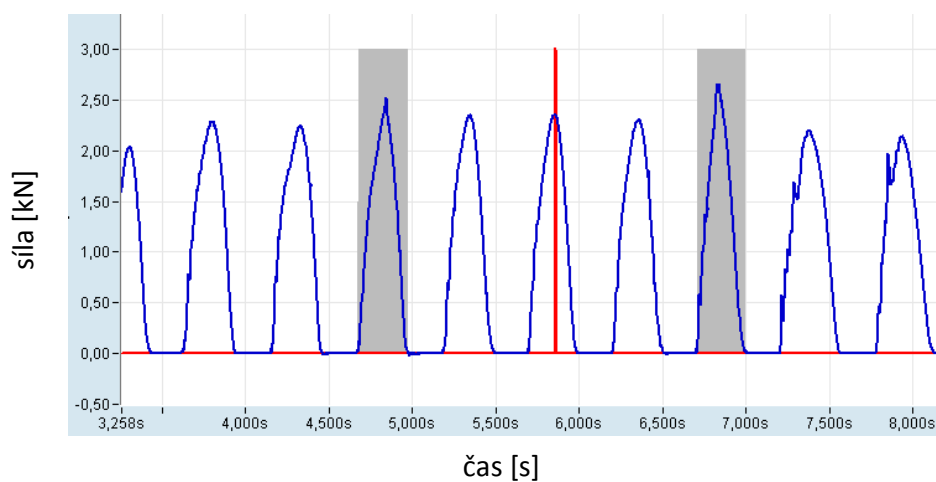
t0. Svalová síla je ekvivalentní tíhové síle jedince. t1. Rychlost dosahuje minimálních záporných hodnot fáze před výskokem. t2. Rychlost nabývá nulové hodnoty. t3. Síla dosahuje maximální hodnoty akcelerační fáze skoku. t4. Výkon dosahuje maximální hodnoty akcelerační fáze skoku. t5. Rychlost dosahuje maximální hodnoty v akcelerační fázi skoku. t6. Síla a výkon jsou nulových hodnot, počátek záznamu času letové fáze. t7. Rychlost je nulová, výška skoku je přímo úměrná dosažené energii potenciální. t8. Síla a výkon jsou nulových hodnot, konec záznamu času letové fáze. t9. Rychlost nabývá nulové hodnoty v konečné fázi skoku. t10. Svalová síla je ekvivalentní tíhové síle jedince.

Obr. 6: Kinematický profil testu m1LH (poskoky na jedné noze).



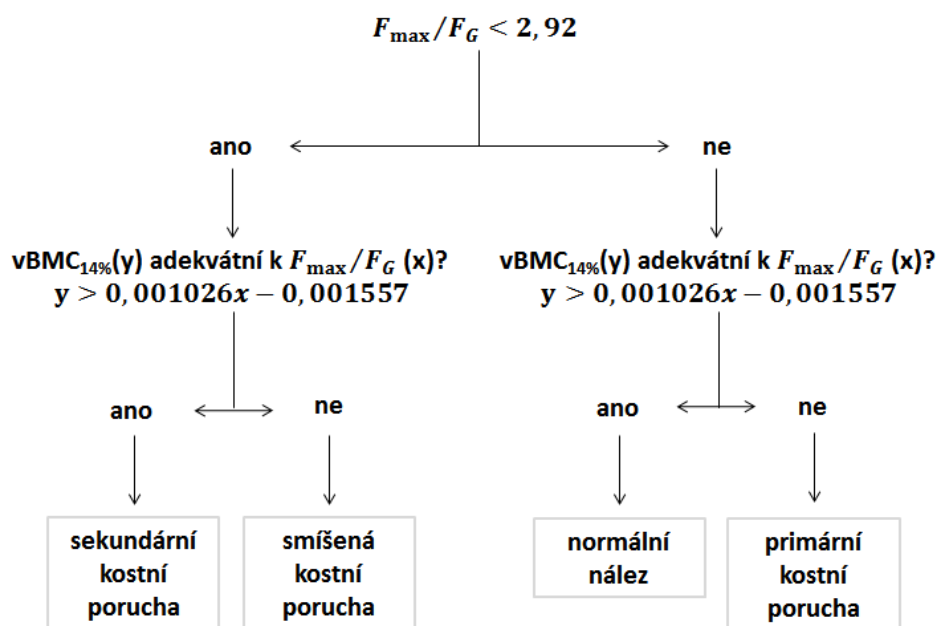
A. Odraz. B. Výskok. C. Dopad. D. Maximální excentrické protažení svalu, pata se nesmí dotknout mechanografu. E. Odraz. F. Výskok. G. Dopad (upraveno podle Veilleux and Rauch, 2010).

Obr. 7: Mechanogram – kinetický profil testu m1LH.



Modrá křivka značí vývoj svalové síly v průběhu času. Červená linie značí skok, při kterém bylo dosaženo maximální volní svalové síly. Šedé obdélníky upozorňují na chybná provedení skoků.

Obr. 8: Prospektivní algoritmus kvantifikace muskuloskeletálního statusu dolní končetiny pro diagnostiku kostní poruchy.



(upraveno podle Anliker and Toigo, 2012)

Přílohy: Ostatní

Informační dopis a dotazníková anketa pro rodiče a děti.

Model kvadratické regrese pro parametr P_{\max} a věk.

Seznam fyzikálních rovnic.

Seznam rovnic použitých pro výpočet somatických charakteristik.

Informační dopis a dotazníková anketa pro rodiče a děti.



UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA ANTROPOLOGIE A GENETIKY ČLOVĚKA

Korespondenční adresa: Viničná 7, CZ-128 43 Praha 2, Czech Republic

V Praze, dne 4. 4. 2011

Vážený rodiče,

dovolujeme si Vás požádat o souhlas se zařazením Vašeho dítěte do studie zaměřené na hodnocení svalových funkcí u dětí školního věku, jejíž výsledky budou využity pro vypracování vysokoškolských kvalifikačních prací a zároveň použity v klinické praxi pro zlepšení diagnostiky svalových dysbalancí.

Jedná se o hodnocení svalové funkce jedince na základě měření fyzikálních parametrů (svalové síly, výkonu, pohybové koordinace), které budou zjišťovány analýzou jednoduchých pohybů (výskoku, poskoku), s využitím mechanografu (viz obr.). Současně budou prováděna měření základních růstových charakteristik (tělesné výšky, tělesné hmotnosti, výšky vsedě, rozpětí paží, obvodů jednotlivých segmentů končetin a tloušťky kožních řas). Vyšetření bude provádět Bc. Jana Matysková, vyškolená studentka Katedry antropologie a genetiky člověka Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze, a Radka Vlachová, vyškolená studentka Katedry speciální pedagogiky Pedagogické fakulty Univerzity Karlovy v Praze. Výzkum je prováděn na profesionální úrovni a velmi citlivou formou.

Měření se uskuteční na škole, kam Vaše dítě dochází, v rámci výuky. Získané údaje o Vašem dítěti budou dále zpracovány se **zachováním přísné anonymity** a poslouží výhradně k výše uvedeným účelům.

Pokud souhlasíte se zařazením dítěte do studie, vyplňte laskavě základní údaje o dítěti na druhé straně listu.

Případné dotazy směřujte na e-mail: vyzkum.mech@seznam.cz.

Vážený rodiče, děkujeme za pochopení a spolupráci.

Vyřizuje:

Doc. PhDr. Lea Květoňová, Ph.D.
vedoucí Katedry speciální pedagogiky
Pedagogické fakulty UK v Praze

Doc. Mgr. Vladimír Sládek, Ph.D.
vedoucí Katedry antropologie a genetiky člověka
Přírodovědecké fakulty UK v Praze



Mechanograf Leonardo

(<http://www.galileo-training.com/de-english/products/leonardo-mechanograph.html>)

----- zde odštíhněte

Souhlasím se zařazením svého dítěte do studie:

Jméno a příjmení dítěte:

Datum narození:

Místo narození:

Národnost:

Závažná onemocnění (diabetes mellitus, poruchy růstu, vrozené vady, hormonální poruchy apod.):

Porodní délka*:

Porodní hmotnost*:

Dítě se narodilo ve týdnu těhotenství*.

Jméno a příjmení rodiče/ zákonného zástupce:

V, dne

Podpis rodiče/zákonného zástupce:

* tyto údaje není bezpodmíněčně nutné vyplňovat

Model kvadratické regrese pro parametr P_{\max} a věk.

```
Call:
lm(formula = as.formula(paste("log(", nam, ")", "~Vek+I(Vek^2)+Gender+Gender:Vek+Gender:I(Vek^2)",
  sep = "")), data = leon)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.61751 -0.13548  0.00308  0.12902  0.61146

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   4.8653737   0.1093383   44.498 < 2e-16 ***
Vek            0.3223672   0.0185486   17.380 < 2e-16 ***
I(Vek^2)      -0.0086680   0.0007365  -11.769 < 2e-16 ***
GenderM        0.5379707   0.1717118    3.133 0.00179 **
Vek:GenderM   -0.1193018   0.0293625   -4.063 5.33e-05 ***
I(Vek^2):GenderM 0.0064975   0.0011871    5.473 5.94e-08 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1918 on 790 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8415,    Adjusted R-squared:  0.8405
F-statistic: 839 on 5 and 790 DF,  p-value: < 2.2e-16

[1] "P-hodnota testu shody regresních krivek pro chlapce a dívky: < 2.22e-16"
[1] "P-hodnota testu shody regresních krivek v šesti letech: 0.18634"
[1] "P-hodnota testu významnosti kvadratickeho clenu pro chlapce: 0.019985"
```

Veličina P_{\max} je vysvětlována věkem probandů. Zakřivení regresní křivky určuje hodnota koeficientu „I(Vek^2):GenderM“, který udává změnu koeficientu u kvadratického členu pro chlapce. Směr a míru zakřivení regresní křivky pro dívky udává hodnota koeficientu „I(Vek^2)“. Pro veličinu P_{\max} je koeficient u kvadratického členu pro dívky „I(Vek^2)“ roven $-0,0087$, regresní křivka se pro dívky stáčí směrem dolů (příslušný koeficient je významný s hodnotou menší než $2 \cdot 10^{-16}$). Pro chlapce vychází hodnota u kvadratického členu jako součet koeficientů „I(Vek^2):GenderM“ a „I(Vek^2)“, tedy přibližně: $-0,0087 + 0,0065 = -0,0022$. Tato hodnota již není významně odlišná od nuly. Parametry „GenderM“, „Vek:GenderM“ a „I(Vek^2):GenderM“ jsou veličiny, pro které je za „GenderM“ dosazena hodnota 1 (v případě chlapců), nebo 0 (v případě dívek).

Seznam fyzikálních rovnic.

fyzikální rovnice
$E_p = m \cdot g \cdot h$
$E_k = 1/2 \cdot m \cdot v^2$
$F = m \cdot g$
$P = W/t$
$P = F \cdot v$
$v = s/t$
tělesná hmotnost = F_G/g

Seznam rovnic použitých pro výpočet somatických charakteristik.

index proporcionality postavy = výška vsedě/subischiální délka dolních končetin	
korigovaný obvod bérce = obvod max. vyklenutí bérce – $\pi \cdot K\check{R}$ lýtky	
korigovaný obvod paže = střední obvod paže – $\pi \cdot K\check{R}$ tricipitální	
rovnice podle Slaughtera – odhad množství tělesného tuku (FM) a tukuprosté hmoty (FFM)	
dívky	% FM = $1,33 \cdot (K\check{R} \text{ tricipitální} + K\check{R} \text{ subskapulární})$
(součet $K\check{R} < 35 \text{ mm}$)	$-0,013 \cdot (K\check{R} \text{ tricipitální} + K\check{R} \text{ subskapulární})^2 - 2,5$
dívky	% FM = $0,546 \cdot (K\check{R} \text{ tricipitální} + K\check{R} \text{ subskapulární}) + 9,7$
(součet $K\check{R} > 35 \text{ mm}$)	
chlapci v prepubertál. obd.	% FM = $1,21 \cdot (K\check{R} \text{ tricipitální} + K\check{R} \text{ subskapulární})$
(součet $K\check{R} < 35 \text{ mm}$)	$-0,008 \cdot (K\check{R} \text{ tricipitální} + K\check{R} \text{ subskapulární})^2 - 1,7$
chlapci v pubertál. obd.	% FM = $1,21 \cdot (K\check{R} \text{ tricipitální} + K\check{R} \text{ subskapulární})$
(součet $K\check{R} < 35 \text{ mm}$)	$-0,008 \cdot (K\check{R} \text{ tricipitální} + K\check{R} \text{ subskapulární})^2 - 3,4$
chlapci v postpubertál. obd.	% FM = $1,21 \cdot (K\check{R} \text{ tricipitální} + K\check{R} \text{ subskapulární})$
(součet $K\check{R} < 35 \text{ mm}$)	$-0,008 \cdot (K\check{R} \text{ tricipitální} + K\check{R} \text{ subskapulární})^2 - 5,5$
chlapci	% FM = $0,783 \cdot (K\check{R} \text{ tricipitální} + K\check{R} \text{ subskapulární}) + 1,6$
(součet $K\check{R} > 35 \text{ mm}$)	
dívky, chlapci	kg FFM = $\text{hmotnost} - (\% \text{ FM} \cdot \text{hmotnost})/100$